

TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN TOIMIALA

Kone- ja tuotantotekniikka

Koneautomaatio

INSINÖÖRITYÖ

KAUKOLÄMMÖN PÄÄSÄÄDÖT

**Työn tekijä: Aleksi Nikkilä
Työn valvoja: Heikki Paavilainen
Työn ohjaaja: Guy Lindman**

Työ hyväksytty: __. __. 2008

**Heikki Paavilainen
lehtori**

ALKULAUSE

Tämä insinöörityö tehtiin Helsingin Energian Salmisaaren voimalaitokselle. Haluan kiittää Salmisaaren automaatioverstaan väkeä kaikesta saamastani avusta. Erityisesti haluan kiittää automaatiomestari Guy Lindmania, joka ehdotti insinöörityöni aihetta. Automaatiomestari Lindmanin toimiminen ehtymättömänä tiedon lähteenä on mahdollistanut sekä työn tekemisen että sen loppuunsaattamisen.

Helsingissä 25.3.2008

Alexi Nikkilä

INSINÖÖRITYÖN TIIVISTELMÄ

Tekijä: Aleksi Nikkilä	
Työn nimi: Kaukolämmön pääsäädot	
Päivämäärä: 25. maaliskuuta 2008	Sivumäärä: 40 + 7
Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka	Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio
Työn valvoja: lehtori Heikki Paavilainen	
Työn ohjaaja: automaatiomestari Guy Lindman	
<p>Työssä keskitytään tarkastelemaan kaukolämmön pääsäättöjä, jotka ovat lämpötilan, paineen ja keskipaineen säädot. Lisäksi työssä on pintapuolisesti käsitelty myös kaukolämpöön liittyviä perusasioita, toimintaperiaatteita, kaukolämmön erilaisia tuotantotapoja sekä varastointia.</p> <p>Lämpötilan säätöön liittyvät keskeisimmät tekijät ovat menoveden absoluuttisen ala- ja ylärajan määrittäminen, paluuveden alimman optimaalisen arvon määrittäminen, lämpötilan asetusarvon asettaminen, sekä lämpötilan muutosten vaikutus kaukolämmön tuotantoon. Lämpötilan muutoksilla on huomattava vaikutus kaukolämmön tuotannossa.</p> <p>Paine-erolla säädetään kaukolämpöveden virtausmäärää ja tehoa, jolla on merkittävä osuus kaukolämpöjärjestelmässä. Paine-eron säätö Salmisaaren voimalaitoksessa on toteutettu sumeaa logiikkaan perustuvalla tietokoneohjelmalla, joka automaattisesti valvoo paine-eron vaihteluita, säätöpoikkeamaa, säätötasoa ja seuraa paine-eron oloarvoa.</p> <p>Keskipaineen säätäminen on toteutettu siten, että Salmisaaren ja Hanasaaren voimalaitoksissa pystytään keskipainetta säätämään samanaikaisesti. Näin toimien on mahdollistettu suurempi toimintavarmuus ja parempi asetusarvossa pysyminen. Kaukolämpöverkoissa on yleensä vain yksi keskipaineen säätäjä, joten Helsingissä voimassa oleva järjestelmä on ainoa laatuaan.</p> <p>Työ on tehty pääosin haastattelemalla Salmisaaren voimalaitoksen automaatiomestari Guy Lindmania sekä automaatio-verstaan muuta henkilöstöä. Työn tavoitteena on ollut saattaa kirjalliseen muotoon toistaiseksi dokumentoimatonta tietoa.</p>	
Avainsanat: kaukolämpö, säätö, lämpötila, paine, keskipaine	

ABSTRACT

Name: Aleksi Nikkilä	
Title: Main Settings of District Heat	
Date: 25 March 2008	Number of pages: 40 + 7
Department: Mechanical and Production Engineering	Study Programme: Machine Automation
Supervisor: Heikki Paavilainen, Lecturer	
Instructor: Guy Lindman, Automation Master	
<p>The purpose of this study was to explore the primary parameters of district heat. Other topics related to district heat are covered only briefly. These include the working principles as well as different production and storing methods of district heat.</p> <p>Most of the information in this work originates from interviews with the automation master Guy Lindman and other staff from the automation workshop at the Salmisaari power plant. The objective of this work is to put this tacit knowledge of district heat into written form.</p> <p>The primary parameters of district heat are those of temperature, pressure and central pressure. Based on the interviews, this study describes the considerable impact the fluctuations in the temperature have on the production of district heat. The temperature parameter consists of defining the absolute upper and lower temperatures of the output water, defining the lowest optimal temperature for the returning water and modifying the default temperature.</p> <p>An important factor greatly affecting the distribution of district heat is the pressure difference parameter used to alter the flow and power. At the Salmisaari power plant, the pressure difference is automatically controlled by a computer program based on fuzzy logic. The program observes the fluctuations, control levels and offsets of the pressure difference.</p> <p>The control of central pressure is implemented in a way that allows the Salmisaari and Hanasaari power plants simultaneous control over the parameter. This provides a greater reliability of operation and lower fluctuations of the central pressure. The Helsinki district heat system is unique in a sense that all other district heat networks consist only of one power plant.</p> <p>This study was successful in putting the information obtained through the interviews into written form.</p>	
Keywords: district heat, parameter, temperature, pressure, central pressure	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Kaukolämmön kehitys Helsingissä	1
1.2	Työn kulku	1
1.3	Yleistä kaukolämmöstä ja Helsingin Energiasta	2
1.4	Pääsäättöjen kehitys	3
2	YLEISTÄ KAUKOLÄMMÖSTÄ	4
2.1	Kaukolämmön olemus	4
2.1.1	Yhteistuotanto	5
2.1.2	Lämmön varastointi	5
2.1.3	Kaukolämpövesi	5
2.2	Kaukolämmön polttoaineet	7
2.2.1	Fossiilisten polttoaineiden alkuperä	7
2.2.2	Polttoaineiden koostumus	7
2.2.3	Polttoaineen haihtuvat aineet	8
2.3	Yhteistuotannon edut	9
2.3.1	Taloudelliset säästöt	9
2.3.2	Kaukolämmön tilanne ja tulevaisuus	10
2.4	Voimalaitostyyppejä	11
2.4.1	Vastapainevoimalaitos	11
2.4.2	Lauhdevoimalaitos	11
2.4.3	Kaasukombilaitos	11
3	KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO	11
3.1	Kaukolämmön tuotantotapoja	12
3.1.1	Yhteistuotanto	12
3.1.2	Jätteenpolttolaitos	12
3.1.3	Lämpökeskus	13
3.1.4	Lämpöpumput	13

3.2	Sähkön ja lämmön tuotanto Salmisaaren voimalaitoksessa	14
3.3	Lisätietoa tuotantoon liittyvistä asioista	18
4	LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ	18
4.1	Lämpötilan säädöt	18
4.2	Lämpötilan asetusarvo	20
4.3	Kaukolämpöveden lämpötilan vaikutus lämmön- ja sähköntuotantoon	21
4.3.1	Lämpötilan vaikutus lämmön- ja sähköntuotantoon	21
4.3.2	Lämmön- ja sähköntuotantomäärien muuttaminen	21
4.4	Lämpötilan muutokset	22
4.4.1	Vaihteluita kaukolämpöveden lämpötilassa	22
4.4.2	Verkon akkumulointi	22
4.5	Virtausnopeuden laskeminen	23
4.5.1	Entalpia	23
4.5.2	Virtauksen määrittäminen	24
5	PAINEEN SÄÄTÖ	25
5.1	Paine-ero	25
5.1.1	Reduktiolämmönvaihdin ja -säädin	26
5.1.2	Paine-eron asetusarvon muutos	27
5.2	Sumea logiikka	28
5.2.1	Säädön toimintaperiaate	28
5.2.2	Säätötasot	29
5.2.3	Syöttörajat ja hälytykset	30
5.3	Tehosyöttö	31
5.3.1	Tehosyötön muutos	31
5.3.2	Tapoja lämpötehon säätämiseksi	31
5.3.3	Tehonsäätö	32
6	KESKIPAINEN SÄÄTÖ	33
6.1	Keskipaineen merkitys	33
6.1.1	Höyrystyminen ja alipaine	34
6.1.2	Kavitaatio	35
6.2	Keskipaineen säätö	35
6.2.1	Keskipaineen säädön toiminta	36
6.2.2	Moniosaisen kaukolämpöverkon keskipaineen säätö	37
7	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET	39
	LIITELUETTELO	40

1 JOHDANTO

Tämä insinöörityö on tehty Helsingin Energialle ja työssä keskitytään tarkastelemaan Salmisaaren voimalaitosten kaukolämmön pääsääätöjä. Nämä pääsäädöt ovat lämpötilan, paineen ja keskipaineen säädöt. Työssä käsitellään lisäksi lyhyesti yleisiä kaukolämpöön liittyviä asioita sekä kaukolämmön tuotantoon liittyviä seikkoja.

1.1 Kaukolämmön kehitys Helsingissä

Helsingin kaupungin sähkölaitos aloitti kaukolämmön toimittamisen helsinkiläisyhtiöihin ja -koteihin 1900-luvun puolivälissä. Ensimmäiset asiakkaat, joiden kanssa allekirjoitettiin sopimus talvella 1953, olivat Lindströmin pesula ja kaupungin teurastamo. Aluksi kaukolämpöasiakkaille toimitettiin höyrylämpöä. Ensimmäinen vesikaukolämpöasiakas kytkettiin piiriin vuonna 1957.

Kaukolämmitystoiminta joutui alkutaipaleellaan käymään läpi monia teknisiä ongelmia ja kohtaamaan epäluuloa jopa johtavien sähköalan asiantuntijoiden taholta. Alkuvaikeuksista selvittyään kaukolämmitys kuitenkin yleistyi nopeasti, ja 1960- ja 1970-luvuilla se nousi hyvin keskeiseksi osaksi kaupungin energiahuoltoa. 1970-luvun energiakriisin myötä kaukolämmitys hyväksyttiin kiistatta. Yli 90 % Helsingin lämmöntarpeesta tyydytetään nykyisin kaukolämmöllä. Lämmön toimitusmäärällä mitattuna Helsinki on suurimpia kaukolämpöä käyttäviä kaupunkeja Euroopassa.

Kaukolämpö on maamme yleisin lämmitysmuoto. Lisäksi se on ympäristöystävällistä. Lämmöntuotannon keskittäminen voimalaitoksiin on auttanut parantamaan kaupungin ilmanlaatua merkittävästi. Kaukolämmityksen ansiosta talokohtaiset savupiiput ovat kadonneet kaupungista ja Helsingin ilmanlaatu on parantunut merkittävästi.

1.2 Työn kulku

Työssä käydään aluksi läpi kaukolämpöön liittyviä yleisiä seikkoja, kuten esimerkiksi mitä kaukolämpö on, mitä polttoaineita kaukolämmön tuotantoprosessissa voidaan hyödyntää ja minkälaisissa laitoksissa sitä valmistetaan.

Seuraavaksi käsitellään tarkemmin kaukolämmön tuotantoprosessia. Tärkeimpänä asiana on kuitenkin sähkön ja kaukolämmön tuotantoa Salmisaaren voimalaitoksessa.

Sen jälkeen selvitetään kaukolämmön lämpötilaan liittyvät keskeisimmät asiat. Lämpötilan säädöissä tärkeimpiä seikkoja ovat lämpötilan vaikutukset kaukolämpöön ja sen tuotantoon, sekä lämpötilan säätöihin, asetusarvoihin ja muutoksiin vaikuttavat tekijät. Lisäksi luvussa perehdytään lämpökeskukseen ja lämpövaraston toimintaan sekä verkon akkumulointiin.

Sitten keskitytään kaukolämmössä käytettävän paineen, paine-eron ja tehosyötön sekä niiden toimintaperiaatteiden selvittämiseen. Luvussa käsitellään myös paine-eron automaatiota, eli sumeaa logiikkaa.

Lopuksi tarkastellaan kaukolämmön keskipainetta ja siihen liittyviä asioita. Lisäksi luvussa perehdytään Salmisaarella käytössä olevaan erikoiseen keskipaineen säätötapaan.

1.3 Yleistä kaukolämmöstä ja Helsingin Energiasta

Kaukolämmitystä on lähes kaikissa kaupungeissa ja taajamissa. Noin 2,5 miljoonaa suomalaista asuu kaukolämpötaloissa. Kaukolämmityksen osuus lämmitysmarkkinoista on lähes 50 prosenttia. Kaukolämmitys on sitä taloudellisempaa mitä tiheämmin rakennettu alue on ja mitä isompia rakennukset ovat. Lähes 95 % asuinkerrostaloista sekä valtaosa julkisista rakennuksista ja liikerakennuksista ovat kaukolämmitettyjä. Omakotitaloista hieman yli 6 % lämmitetään kaukolämmöllä. Suurimmissa kaupungeissa kaukolämmön markkinaosuus on yli 90 %. Kaukolämmön ylivoimainen energiatehokkuus ja ympäristömyönteisyys perustuvat erityisesti siihen, että kaukolämmitys hyödyntää muuten hukkaan menevää lämpöenergiaa, jota syntyy sähköntuotannon yhteydessä. Kaukolämmitys sopii kaikenlaisiin ja -kokoisten kiinteistöjen lämmitykseen ja siihen voidaan liittää niin vanhat kuin uudetkin kiinteistöt. Kaukolämmön etuja ovat helppohoitoisuus, edullisuus ja ympäristöystävällisyys. Yhteistuotannolla tuotettu kaukolämpö säästää polttoainetta.

Kaukolämmön toimintavarmuus Helsingissä on erittäin korkea. Lämpöverkko on rakennettu siten, että lämpö voidaan tarvittaessa toimittaa asiakkaalle useampaa eri reittiä pitkin. Myös taloudellisessa mielessä kaukolämmitys on asiakkaalle paras ja turvallisin vaihtoehto.

Korkean hyötysuhteen yhteistuotannon osuus sähkön tuotannosta Helsingissä oli vuonna 2006 78 %. Helsingin Energia hankki sähköstä 49 % maakaasulla, 29 % kivihiilellä, 16 % ydinvoimasta ja 6 % uusiutuvista energialähteistä. Vuonna 2006 yhteistuotannon osuus Helsingin kaukolämmityksessä oli yli 91 %.

Merkittävämpää kuin pelkät raaka-aineosuudet on se tehokkuus, millä hyötyenergiaa syntyy. Hiilidioksidin ominaispäästöt olivat 320 g/kWh vuonna 2006, vertailuvuoden 1990 luvun ollessa 400 g/kWh. Jo 1950-luvulta alkaen Helsingin Energia on tuottanut ekotehokkaasti sähköä ja lämpöä yhteistuotannossa, sekä vuosituhaten alussa lisäksi kaukojäähdytystä. Kaukojäähdytys tuo tilan ja energian säästön lisäksi hyötyä päästöjen ja kaupunkimielun vähenemisenä hajautettuihin ratkaisuihin verrattuna. Maakaasua ja kivihiiltä polttavien voimalaitosten hyötysuhde pidetään edelleen mahdollisimman korkeana.

Helsingin Energialla pohditaan uusiutuvien energianlähteiden osuutta fossiilisten polttoaineiden rinnalla. Sähkön hankinnassa tavoitteena on lisätä vesivoiman, tuulivoiman sekä ydinvoiman osuuksia. Kaukolämmön tarve ja uuden kaupunginosien kasvu ovat niin mittavia, ettei olemassa olevaan yhteistuotantorakenteeseen Helsingissä ole löydettävissä lähitulevaisuudessa merkittävää lisää uusiutuvista energialähteistä. Kaukolämmön ja kaukojäähdytyksen uutena energialähteenä on Katri Valan puiston alla sijaitsevassa lämpö- ja jäähdytyslaitoksessa tuotettu puhdistetun jäteveden lämpö. Suomen entuudestaan korkean biomassan hyödyntämisen lisääminen on tärkeää, mutta ilmaston kannalta sen käyttöpaikan sijainti ei ole oleellista. Logistisista syistä biomassaa tai jäte-energiaa tulisi ensisijaisesti hyödyntää lähellä syntypaikkaansa.

1.4 Pääsäästöjen kehitys

Kaukolämmön pääsäädot ovat vuosien saatossa lähtökohdiltaan pysyneet samoina. Automaation kasvu on tehnyt säädoistä tarkempia ja vähentänyt ihmisen ohjauksen tarvetta.

Keskipaineen säätö on käytännössä pysynyt samana viimeiset vuosikymmenet, tosin Salmisaaren tapa käyttää kahta voimalaitosta sen säätämiseen, on ollut edistysaskel tällä osa-alueella. Keskipaineen säätö on aina hoidettu automaattisesti.

Lämpötilan säätö on kehittynyt merkittävästi. Aiemmin lämpötilaa mitattiin lämmönvaihtimien jälkeen ja sen arvoa haettiin laskennallisesti ja säädön arvoja ennakoitiin näiden perusteella. Tapa todettiin huonoksi ja nykyään lämpötilan mittaamisen sijasta lasketaan entalpiaa. Kehittävien muutosten jälkeen entalpian laskeminen on saanut nykyisen muotonsa ja on osoittautunut hyväksi tavaksi säätää lämpötilaa.

Paine-eron säätäminen, akun purku ja lataus sekä virtausmäärän säätö on aiemmin tehty manuaalisesti. Nykyisin edellä mainitut toiminnot on Salmisaassa korvattu sumeaa logiikkaa hyödyntävällä tietokoneohjelmalla. Paine-eron automatisointi on korvannut ihmisen käytännössä kokonaan.

Säädöt ovat yleisesti muuttuneet prosessin ja ajotapojen muutosten mukana. Keksinnöt ja työmenetelmien muutokset ovat saattaneet muuttaneet säätötapaa radikaalistikin, kuten esim. edellä mainittu tietokoneohjelma.

2 YLEISTÄ KAUKOLÄMMÖSTÄ

Tässä luvussa käsitellään kaukolämmön perusasioita ja pyritään selvittämään kaukolämmön toimintaperiaatteet. Lisäksi esitetään erilaisia kaukolämmön tuotantotapoja, kaukolämmön varastointia sekä niihin liittyviä asioita. Käsiteltävien asioiden monimuotoisuus ja laajuus eivät mahdollista kovinkaan syvällistä perehtymistä edes näihin perusasioihin, josta syystä keskeisimpiäkin asioita tarkastellaan vain pääpiirteissään. Tässä luvussa käydään läpi myös sähkön ja kaukolämmön tuotantoprosessia Salmisaaren voimalaitoksessa.

2.1 Kaukolämmön olemus

Kaukolämpö on lämmön siirtämistä. Kaukolämpö on lämmitystekniikka, jossa voimalaitoksessa lämmitetään vettä, johdetaan se kiinteistöjen lämmönjakokeskuksiin ja sen jälkeen taas takaisin voimalaitokseen. Lämpöä on mahdollista siirtää pitkienkin matkojen päästä. Käytettävän veden lämpötila on riippuvainen ulkolämpötilasta. Kesällä kaukolämmön menoveden lämpötila voi alimmillaan olla 86 °C, kun talvella vastaava lämpötila voi olla 115 °C. Jäähdyntynyt vesi palaa takaisin laitokselle, jossa se lämmitetään ja syötetään takaisin kiertoon.

2.1.1 Yhteistuotanto

Yhteistuotannolla tarkoitetaan sähkön ja lämmön yhtäaikaista hyödyntämistä energian tuotantoprosessissa. Yhteistuotannossa sähköntuotannon yhteydessä syntyvä ylimääräinen energia käytetään kaukolämmön tuotantoon sen sijaan, että se johdettaisiin hukkalämpönä luontoon. Suomi on maailman johtava maa teollisuuden ja taajamien sähkön ja lämmön yhteistuotannossa ja Helsingin Energia on maailman johtavia yhteistuotantotekniikan asiantuntijoita. Yhteistuotanto mahdollistaa sen, että voimalaitos pystyy saavuttamaan lähes 90 %:n hyötysuhteen. Pelkällä sähköntuotannolla rakennusaste jää noin 40 %:iin. Rakennusasteella tarkoitetaan sähkön ja lämmön tuottosuhdetta. Kaukolämmitysvastapainevoimalaitoksilla rakennusaste on tyypillisesti 50 %:n luokkaa. Vastapaineikäyttöisessä voimalaitoksessa kattila lämmittää vettä, joka höyrystyy ja siirtyy turbiinin kautta lämmittämään kaukolämpövedettä ja palaa jäähtyneenä takaisin lämmitettäväksi.

2.1.2 Lämmön varastointi

Lämmön varastoinnilla tarkoitetaan lämmön sitomista veteen. Lämmön varastointia käytetään etenkin yhteistuotannon yhteydessä tehon ja energian tasaajana /1, s. 564/. Lämpöakulla tasataan kaukolämpöverkon lyhytaikaisia lämmöntarpeen vaihteluja. Lämpöakku on yleensä maanpäällinen, lieriömuotoinen, paineistamaton ja lämpöeristetty terässäiliö /2, s. 15/. Tämän tyyppisen varaston enimmäislämpötila on 99 °C ja lämpöakun koko määräytyy voimalaitoksen tarpeen mukaan. Akussa on veden päällä höyrytyyny, joka estää hapen pääsemisen veteen. Tästä johtuen akussa on painetta noin 0.1 Baria. Akun vesi ei kierrä kaukolämpöverkostossa, vaan siinä oleva lämpö siirretään kaukolämpövedeen kierrättämällä sen vesi lämmönvaihtimien kautta. Lämpöakut voivat olla toisenlaisiakin, esim. kallioon rakennettuja, jolloin niistä tehdään erittäin suuria, mutta kustannussyistä terässäiliö on yleisin.

2.1.3 Kaukolämpövesi

Kaukolämpöverkostoissa kulkeva vesi on puhdistettu kaikista mekaanisista epäpuhtauksista, hapesta ja muista kaasuisista. Puhdistamisella pyritään pitämään putkistot puhtaina ja estämään mahdolliset kerrostumat sekä korrosio /1, s. 44/.

Korroosiota esiintyy seuraavin eri tavoin:

- happikorroosio
 - esiintyy happipitoisen veden ollessa kosketuksessa teräkseen
 - korroosionopeus kasvaa lämpötilan noustessa
- vetyä kehittävä korroosio
 - vety on räjähdysherkkää hapen kanssa ja syttyy 560 °C:n lämpötilassa
- eroosiokorroosio
 - esiintyy yleensä kupariputkissa
 - nopeasti virtaava vesi aiheuttaa kupariputken pinnan kuparioksidin eroosion paljastaen puhtaan kuparipinnan, jolle muodostuu kuparioksidia, jonka eroosio kuluttaa pois
 - kuluttaa putken puhki
- ammoniakkikorroosio
 - kuten eroosiokorroosio, ammoniakki liuottaa hapen vaikutuksesta kuparioksidin
 - edellytyksenä ammoniakin ja hapen samanaikainen läsnäolo
- galvaaninen korroosio
 - kappaleiden täytyy olla eri materiaalia
 - metallien liitoskohtaan muodostuu sähköpari (Sähköpari on kemiallinen virtalähde eli laite, jossa kemiallista energiaa muutetaan energiaksi.)
- jännityskorroosio
 - metalliin muodostuu murtumia korroosion ja metallin ulkoisen ja/tai sisäisen vetojännityksen vaikutuksesta
- biologinen korroosio
 - mikrobien aiheuttamaa
 - esiintyy todennäköisimmin putken karheissa kohdissa, kuten esim. hitsausaumoissa
 - havaitseminen hankalaa ja pystytään varmistamaan vain viljelytutkimuksen avulla /1, s. 361/.

Kaukolämpövesi on värjätty vihreäksi, mikä seikka edesauttaa erottamaan sen vesijohtovedestä, mikä puolestaan nopeuttaa vuotovikojen paikantamista ja korjausta.

2.2 Kaukolämmön polttoaineet

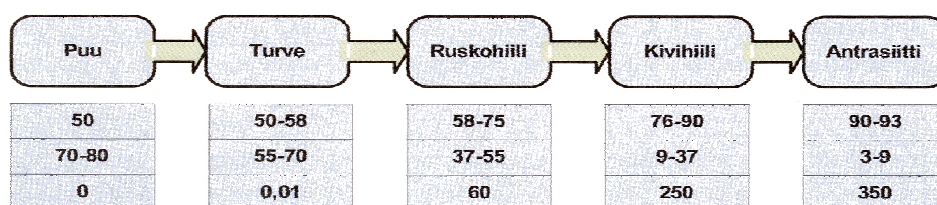
Fossiilisilla polttoaineilla on aina ollut merkittävä osuus energian tuotannossa ja vasta sen jälkeen, kun ydinvoimaa on alettu käyttää, niiden osuus on merkittävästi laskenut. Tärkeimmät fossiiliset polttoaineet ovat kivihiili, maakaasu ja polttoöljyt, jotka ovat myös tärkeimmät polttoaineet kaukolämmön tuotannossa. Nykyään hyödynnetään myös uusiutuvia biopolttoaineita, kuten esim. haketta ja puuta. Uusiutuvien biopolttoaineiden osuus kaikesta tuotantoon käytetystä polttoaineesta on noin 25 %.

2.2.1 Fossiilisten polttoaineiden alkuperä

Fossiiliset polttoaineet ovat peräisin elollisen luonnon maahan vajonneista ikivanhoista jäänteistä. Ne ovat kehittyneet pitkien aikojen kuluessa maaperässä olevan korkean paineen ja lämpötilan alaisena. Aineiden hiilipitoisuus kasvaa ajan myötä ja vastaavasti haihtuvien aineiden osuus laskee.

Vanhin fossiilinen polttoaine on raakaöljy. Sen arvellaan muodostuneen liejun alle hautautuneista merieliöistä ja leväkasveista ja sen iäksi arvioidaan noin 500 miljoonaa vuotta. Maakaasua muodostuu raakaöljyn haihtuvista komponenteista. Kaasut ovat kulkeutuneet maakerroksissa ja tästä johtuen niitä esiintyy öljylähteiden yhteydessä sekä niistä erillään /1, s. 261/.

Kuvassa 1 on esitetty fossiilisen polttoaineen muodostuminen ajan myötä. Ylimmässä sarakkeessa on aineen hiilipitoisuus prosentteina, keskimmaisessa sarakkeessa on haihtuvien aineiden määrä prosentteina ja alimassa sarakkeessa on aineen ikä miljoonina vuosina.



Kuva 1. Fossiilisten polttoaineiden kehittyminen /1, s. 261/

2.2.2 Polttoaineiden koostumus

Fossiiliset polttoaineet koostuvat samoista aineista kuin elollinen luonto, josta ne ovat kehittyneet. Tärkeimpiä fossiilisia polttoaineita ovat hiili, vety, happi ja typpi, sekä lisäksi ympäröivästä maaperästä liuenneita aineita, kuten esim. suolat, kiviaineet ja rikki.

Näistä varsinaisia palamiskomponentteja ovat hiili, vety ja rikki. Haitallisia aineita ovat rikki ja typpi, koska ne muodostavat helposti oksideja. Polttoaineessa oleva kosteus vähentää sen lämpöarvoa, koska polton läpi kulkiesaan vesi höyrystyy ja sitoo lämpöä.

Fossiilisten polttoaineiden vesipitoisuus vähenee geologisen iän myötä. Kivihiilessä on kosteutta noin 10 %, kun taas raskaassa polttoöljyssä kosteutta on enää noin 0.3 %. Huolimatta siitä, että määrät ovat näinkin pieniä, ne on otettava huomioon varastoinnissa.

Kosteus on sitoutunut polttoaineisiin sekä sisäisenä että ulkoisena hygroskooppisena kosteutena. Tämä hygroskooppinen kosteus on sitoutunut polttoaineiden huokosiin. Hygroskooppisuudella tarkoitetaan aineen kykyä sitoa itseensä ilman vesihöyryä ja luovuttaa tätä sitoutunutta kosteutta takaisin ilmaan ilman suhteellisen kosteuden muuttuessa /1, s. 263/.

2.2.3 Polttoaineen haihtuvat aineet

Polttoaineen kaasuuntuvia komponentteja kutsutaan sen haihtuviksi aineiksi, joiden määrä riippuu niiden geologisesta iästä. Vanhemmassa polttoaineessa on pienempi happipitoisuus kuin uudemmassa polttoaineessa ja näin ollen sen haihtuvien aineiden osuus on pienempi. Polttoaineesta muodostuu seuraavia aineita:

- hiilimonoksidi (CO)
- vety (H₂)
- metaani (CH₄)
- hiilidioksidi (CO₂)
- yms. esim. rikkidioksia (SO₂) jos sitä on mukana
- kaasuuntumaton koksi.

Haihtuvilla aineilla on suuri merkitys polttoaineen syttymiseen. Paljon haihtuvia aineita sisältävä polttoaine syttyy alhaisemmassa lämpötilassa kuin vähän haihtuvia aineita sisältävä polttoaine. Nopean syttymisen seurauksena paljon haihtuvia aineita sisältävän polttoaineen palaminen on nopeampaa ja täydellisempää kuin vähän haihtuvia aineita sisältävän polttoaineen palaminen. Korkean syttymislämpötilan takia hiili täytyy jauhaa ennen polttoa siten, että palaminen ehtii tapahtua täydellisesti tulipesässä. Korkeissa, noin

tuhannen asteen lämpötiloissa, syntyy haitallisia typen oksideja. Tämän vuoksi prosessin lämpötila on huomattavasti alhaisempi, noin 600 °C.

2.3 Yhteistuotannon edut

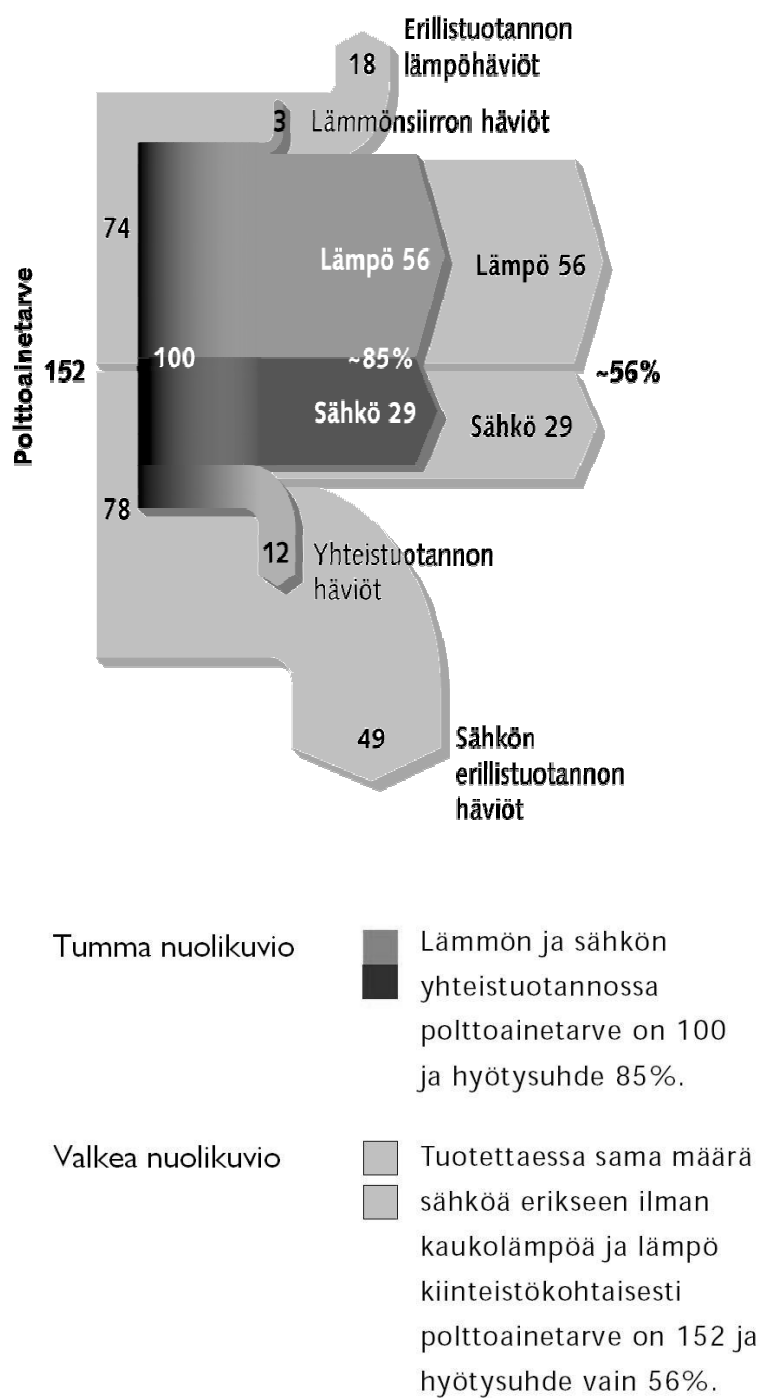
Tässä kappaleessa käsitellään yhteistuotannosta saatavia etuja ja säästöjä. Lisäksi käydään läpi yhteistuotannon tulevaisuuteen liittyviä näkemyksiä ja suunnitelmia.

2.3.1 Taloudelliset säästöt

Yhteistuotannolla saavutetaan merkittäviä säästöjä kattila- ja prosessihäviöissä verrattuna erillistuotantoon, missä sähkö ja lämpö tuotetaan omissa laitoksissaan. Kiinteällä polttoaineella, esim. kivihiilellä, toimiva laitos säästää yhteistuotannossa polttoainekuluina noin 30 %. Huomioon on otettava myös se, että henkilöstön tarve yhdessä vastapainekäyttöisessä voimalaitoksessa on alhaisempi kuin lauhdevoimalaitoksessa ja lämpökeskuksessa yhteensä, mikä sinällään synnyttää säästöjä ja on taloudellisempi vaihtoehto.

Kaukolämmön käyttämiseen sitoutuminen on toisaalta kallista ja sen takaisinmaksuaika on pitkä. Ainoastaan hyvin kauas tulevaisuuteen tähtäävät kaukolämmön käyttösuunnitelmat tekevät kaukolämmön käytöstä taloudellisesti kannattavaa.

Kuvasta 2 ilmenevät yhteistuotannon ja erillistuotannon häviöt sekä polttoaineen tarpeet. Lisäksi on otettava huomioon, että molemmilla tavoilla saatu energian määrä on yhtä suuri, vain polttoaineen määrä vaihtelee. Yhteistuotannon etuna ovat huomattavasti alhaisemmat häviöt, mikä seikka vähentää polttoaineen tarvetta.



Kuva 2. Yhteis- ja erillistuotannon vertailu /3, s. 8/

2.3.2 Kaukolämmön tilanne ja tulevaisuus

Yhteistuotannon huomattavista polttoainesäästöistä johtuen sitä pidetään EU-alueella yhtenä tehokkaimpana keinona ilmansaasteiden vähentämiseksi. Polttoainesäästöt vähentävät suoraan päästöjen määrää.

Yhteistuotannolla tuotetaan Suomessa noin kolmannes kaikesta sähköstä ja 80 % kaikesta lämmöstä, mitkä ovat korkeimpia tuotantolukuja maailmassa. Suomessa myös savukaasujen puhdistus on pitkälle kehittyntä.

2.4 Voimalaitostyyppejä

Hiilellä toimivia voimalaitoksia on kahta eri tyyppiä: vastapainevoimalaitoksia ja lauhdevoimalaitoksia. Lisäksi on olemassa kaasulla toimivia kombilaitoksia.

2.4.1 Vastapainevoimalaitos

Vastapainevoimalaitos on sähköä, lämpöä tai höyryä tuottava laitos, jossa höyry johdetaan höyryturbiinin loppupäästä kaukolämmönsiirtimeen tai välitosta otettu höyry toimitetaan höyryn käyttäjille.

Vastapainevoimalaitoksessa yhteistuotanto mahdollistuu, mikä parhaimmillaan nostaa voimalaitoksen hyötysuhteen 90 %:iin /1, s. 47/.

2.4.2 Lauhdevoimalaitos

Lauhdevoimalaitos on erikoistunut ainoastaan sähkön tuotantoon. Lauhdevoimalaitoksista tehdään yleensä suuria, koska silloin kalliit lisäkomponentit sähköntuotannon hyötysuhteen parantamiseksi tulevat kannattavaksi.

Lauhdevoimalaitokset toimivat useimmiten halvoilla polttoaineilla, kuten esim. kivihiilellä. Lauhdevoimalaitosten rakennussuhde jää aina alle 45 %:n.

Ydinvoimalaitokset ovat myös lauhdevoimalaitoksia, mutta niitä ei yleensä luokitella polttoaineella toimivien voimalaitosten joukkoon kuuluviksi.

2.4.3 Kaasukombilaitos

Kaasukombilaitoksilla on korkea rakennusaste, eli niistä saadaan suuri määrä sähköä suhteessa tuotettuun lämpöön. Vuosaaren B-voimalaitoksella tämä suhde on 50/50.

3 KAUKOLÄMMÖN TUOTANTO

Tässä luvussa tarkastellaan kaukolämmön tuotantoon liittyviä asioita Helsingin Salmisaaren voimalaitoksella. Kaukolämmön tuotantotavoissa esiintyy

vaihtelua eri voimalaitoksissa, mutta pääpiirteittäin esim. vastapainevoimalaitosten toimintaperiaate on kaikissa samanlainen.

3.1 Kaukolämmön tuotantotapoja

Kaukolämpöä voidaan tuottaa usealla eri tavalla. Näistä yleisimmät ovat yhteistuotanto ja lämpökeskukset. Esimerkiksi Helsingissä on voimalaitosten lisäksi kymmenen erillistä öljy- ja kaasukäyttöistä kaukolämpökeskusta ja näiden lisäksi vielä Salmisaaren A-voimalaitoksen kivihiilikäyttöinen kaukolämpökattila K7 sekä öljyllä toimiva kattila 6, joka tunnetaan myös nimellä SV, eli Salmisaaren vesikattila.

3.1.1 Yhteistuotanto

Kaukolämpöä tuotetaan Suomessa yleisimmin yhteistuotannossa. Miltei kaikissa sähköntuotantoprosesseissa, joissa syntyy lämpöä, lämpö voidaan hyödyntää kaukolämpönä lukuun ottamatta lauhdevoimalaitoksia. Fossiilisia polttoaineita käyttävät voimalaitokset tuottavat myös kaukolämpöä, paitsi sähköä tuottavat lauhdevoimalaitokset. Biopolttoaineista, kuten esim. puusta, saadaan myös kaukolämpöä. Edellä mainittujen lisäksi myös ydinvoimaa on mahdollista hyödyntää kaukolämmöksi. Muun muassa Sveitsissä tässä on onnistuttu ja ydinvoimala tuottaa lämpöä noin 15 000 ihmiselle. Voimalaitosten lisäksi kaukolämpöä saadaan tuotetuksi voimalaitoksissa, joissa syntyy lämpöä, kuten esim. jätteenpolttolaitoksissa /4, s. 15/.

3.1.2 Jätteenpolttolaitos

Suomessa suunnitellut jätteenpolttolaitokset toimivat useimmiten yhteistuotannon periaatteella. Syntypaikkalajiteltu yhdyskunta- ja teollisuusjäte on rinnastettavissa muihin kiinteisiin biopolttoaineisiin kuten esim. hakkeeseen ja turpeeseen. Jätepolttoaineen kosteus on usein pienempi kuin puupolttoaineen kosteus, jolloin sen polttoarvo on myös korkeampi.

Jätteenpolttolaitoksia on kahdentyyppisiä, massapolttolaitoksia ja kiertoleijupolttolaitoksia. Massapolttolaitoksissa polttoaineena voidaan käyttää yhdyskunta- ja teollisuusjätettä. Niissä voidaan lisäksi polttaa kuivattua jäteliettä. Käynnistys- ja varapolttolaitoksissa käytetään maakaasua tai kevyttä polttoöljyä. Massapolttolaitoksissa palaminen tapahtuu arinapoltolla, josta syystä niissä käytettävää jätettä ei tarvitse käsitellä.

Tuotantoluvut 100 000 tonnia polttoainetta kohti ovat seuraavat:

- lämmöntuotanto 220 GWh / a
- sähköntuotanto 50 GWh / a
- sähköntuotannon hyötysuhde 16 - 17 %
- vuotuinen käyttöaika 7 500 h / a

Kiertoleijupolttolaitos soveltuu kaikenlaisen biopolttoaineen ja jätteen polttoon. Polttolaitoksen etuja ovat sen soveltuvuus monenlaisille polttoaineille ja suurillekin polttoaineen laadun vaihteluille. Tosin polttoaine on murskattava pienemmäksi ja sopivaan kokoon ennen polttoa /1, s. 308/.

3.1.3 Lämpökeskus

Lämpökeskuksissa tuotetaan vain lämpöä ja ne voivat toimia joko polttoainetta polttamalla tai sähkökattiloiden avulla, jolloin lämpöä tuotetaan sähköllä. Sähkökattiloiden toimintamalleja ovat vastus- ja elektrodikattilat. Vastuskattilassa lämpöä tuotetaan vedessä olevien sähkövastusten avulla. Elektrodikattiloissa sähkö kulkee elektrodien välillä veden läpi, jolloin vesi sähkövirran vastuksena lämpenee /5, s. 22/.

3.1.4 Lämpöpumput

Lämpöpumppujen käyttö kaukolämmityksessä on yleistynyt 1970-luvun jälkeen, mutta niiden osuus kaikesta tuotetusta lämmöstä jää silti hyvin pieneksi. Lämpöpumppuja on rakennettu hyödyntämään sekä järvien ja muiden vesistöjen lämpöä että teollisuudessa syntyvää hukkalämpöä. Voimalaitosten jäähdytysvesipiiri on lämpöpumppujen pääasiallinen lämmönlähde. Muita jäähdytyskohteita ovat turbiinien öljyjärjestelmä, syöttövesipumput, lauhdepumput yms. Lämpöpumpuilla saatava hyötyteho on runsaat 1 % kattilantehosta /6, s. 6/.

Helsingin Sörnäisissä sijaitsevan runoilija Katri Valan puiston alle on louhittu tilat lämpölaitokselle. Luola sijaitsee 25 metrin syvyydessä ja puiston alla risteää puhdistetun jäteveden purkutunneli sekä yhteiskäyttötunneli, jonka kautta laitoksessa tuotettu lämpö- ja jäähdytysenergia siirretään kuluttaja-alueille.

Jäteveden purkutunnelissa virtaavan puhdistetun jäteveden lämpö hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa. Lämpölaitos on kaukokäyttöinen ja sitä valvotaan Helsingin Kampissa sijaitsevan Sähkötalon lämpövalvomosta. Pakkasrajan ylittyessä omien voimalaitosten tuotannon lisäksi tarvitaan erillisten lämpökeskusten tehoa. Laitoksen tuotantoteho on 90 MW kaukolämpötehoa, sekä 60 MW jäähdytystehoa. Tosin täytyy ottaa huomioon, että laitos tarvitsee kolmanneksen tuotetusta lämpömäärästä sähkönä, eli mainittu 90 MW:n lämpöteho vaatii 30 MW sähköä.

3.2 Sähkön ja lämmön tuotanto Salmisaaren voimalaitoksessa

Salmisaaren voimalaitoksen pääpolttoaineena käytetty kivihiili tuodaan voimalaitokselle meriteitse. Lasti puretaan ja kuljetetaan liukuhihnalla laitoksen alapuolella sijaitsevaan hiililuolaan, missä se varastoidaan hiilisiiloihin. Näihin siiloihin mahtuu useamman kuukauden polttoaineen tarve.

Salmisaaren voimalaitosten tekniset tiedot ja hieman yleistietoa niiden muodostamasta kokonaisuudesta on taulukoituna työn mukana (liite 2). Liitteessä on tietoja seuraavista osista, jotka muodostavat voimalaitoskompleksin:

- energiantuotantoyksiköt eli A- ja B-blokit
- maanalaiset öljyvarastot
- rikinpoistolaitos
- Kellosaaren varavoimalaitos
- hiilisiilo
- kaukojäähdytyslaitos.

Seuraavalla sivulla oleva kuva 3 on periaatekuva sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannosta ja energiansiirrosta Salmisaaren voimalaitoksessa. Siitä on helposti havaittavissa kaikki oleellimmat asiat, jotka liittyvät itse energian tuotantoprosessiin.

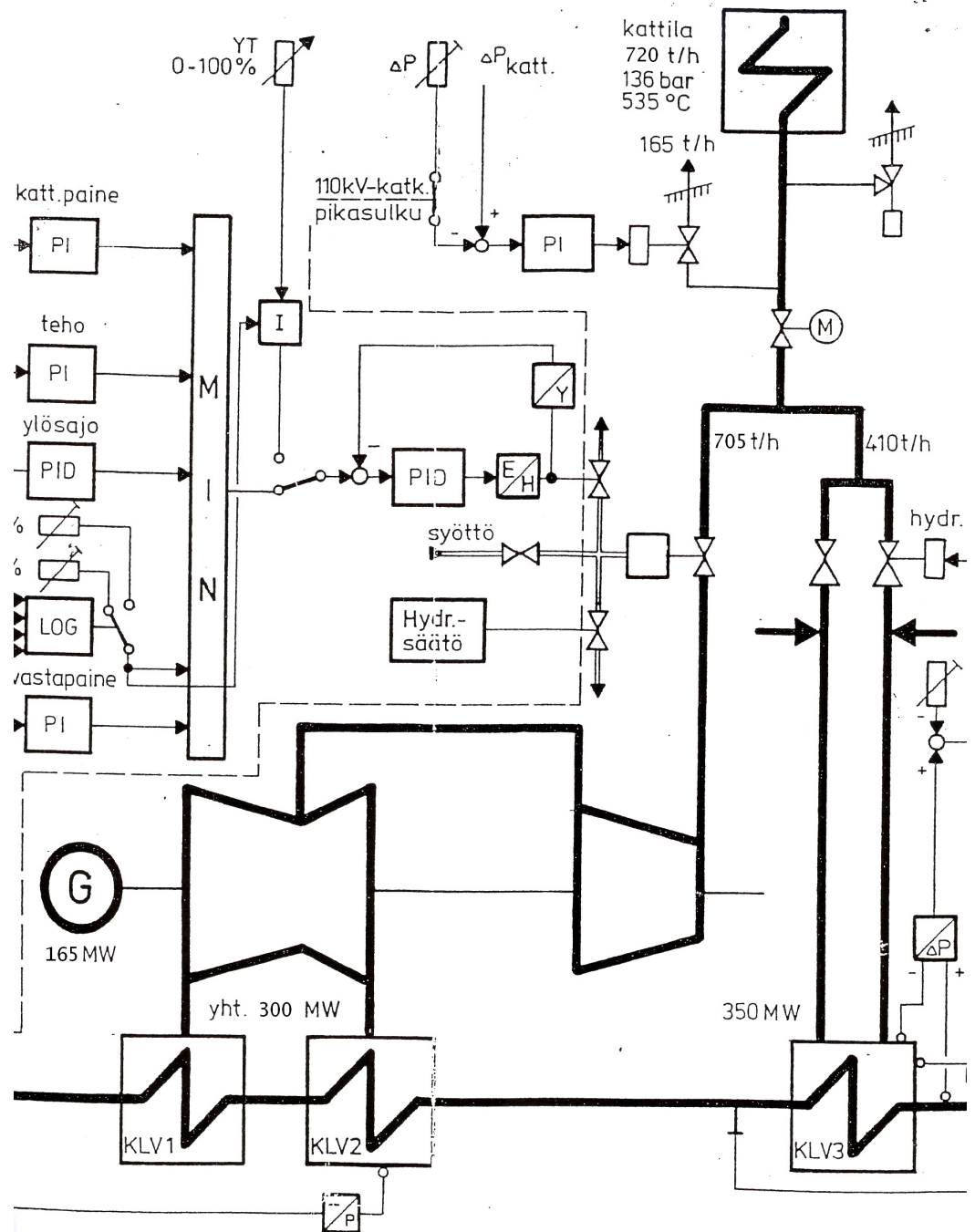
Kuva 3. Periaatekuva sähkön ja kaukolämmön yhteistuotannosta ja energiansiirrosta Salmisaaren voimalaitoksessa /3, s. 10/

Voimalaitoksessa käytettävä kivihiili siirretään maanalaisista hiilisiiloista murskaimen kautta sisälle voimalaitokseen hiilivintillä sijaitseviin hiilisiiloihin, joihin mahtuu noin parin päivän tarvittava hiilimäärä kulutuksesta riippuen. Hiilisiiloista hiili syötetään hiilimyllyihin, joissa se jauhetaan herkemmin syttyväksi hiilipölyksi. Myllyjä on neljä ja täyden tehon saavuttamiseksi kolmen myllyn on oltava käytössä samanaikaisesti. Kuivattu ja jauhettu hiilipöly puhalletaan polttimille kuumen ilman avulla, jota kutsutaan kantoilmaksi.

Hiilipölypolttimet sijaitsevat pääkattilan nurkissa. Täydellä kuormituksella hiiltä palaa noin 70 tonnia tunnissa. Hiiltä poltettaessa kattilan lämpötila nousee yli 600 °C:n. Vesi kuumennetaan höyryksi kattilassa, josta se johdetaan turbiinille. Turbiini pyörittää generaattoria, joka tuottaa sähköä. Normaalissa vastapaineajossa kaikki kattilasta tuleva höyry johdetaan turbiinin läpi, mutta tarvittaessa höyryvirtaa voidaan johtaa myös turbiinin ohi höyrymuunto-asemille eli reduktiolämmönvaihtimelle (KLV3), jolloin vastaava osa energiasta siirtyy kaukolämmöksi.

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa 4 on osa Salmisaaren B-voimalaitoksen blokin pääsääntökaaviosta. Siitä on helposti havaittavissa turbiinin, kaukolämmönvaihtimien ja reduktiolämmönvaihtimen sijainti prosessissa. Kuvassa on kattilan kohdalle merkitty sen tuotantokyky ja kattilasta hieman alempana näkyy, miten höyry voidaan ajaa joko turbiinin tai reduktiolämmönvaihtimen kautta.

Kuvasta on saatavilla suurempi versio, missä ilmenee koko blokin säätökaavio (liite 7). Tässä suuremmassa kuvassa näkyy vasemmassa alalaidassa kaukolämpöveden kierrätyksen säädöstä osa. Myös tämän säädön PI-kaavio on työssä mukana kokonaisuudessaan (liite 5).



Kuva 4. Osakuva Salmisaaren B-voimalaitoksen blokin pääsäätökaaviosta

Turbiinin jälkeen höyry johdetaan kaukolämmönvaihtimiin (KLV1 & 2). Niissä höyry tiivistyy uudelleen kattilaan pumpattavaksi vedeksi, jolloin se samalla luovuttaa höyrystymislämpönsä kaukolämpöveden. Kuluttajille lähtevä kaukolämpövesi on lämmöntarpeesta riippuen noin 86 - 115 asteista.

Generaattori syöttää sähkön käämien kautta päämuuntajaan, jossa sen jännite nostetaan 110 kilovolttiin. Sen jälkeen sähkö syötetään Salmisaaren sähköaseman kytkinlaitosten kautta siirtoverkkoon.

3.3 Lisätietoa tuotantoon liittyvistä asioista

Kesäisin, jolloin lämmölle ei ole suurta kysyntää, lämpöä ajetaan mereen. Tätä prosessia kutsutaan priimaukseksi. Priimauksen toimintakuvauksesta (liite 5) ilmenee, miten kaukolämpövesi käy priimausprosessin läpi ja mitkä osat vaikuttavat siihen.

Salmisaaren voimalaitoksella on ollut toiminnassa myös lämpöpumppu, mutta uudistuneiden ympäristömääräysten takia lämpöpumpussa käytetty jäähdytysaine on jouduttu vaihtamaan toiseen, josta syystä lämpöpumpun käytöllä ei ole päästy enää haluttuihin tuloksiin, joten sen käytöstä on luovuttu.

4 LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

Tässä kappaleessa käsitellään lämpötilan vaikutuksia kaukolämpöön ja sen tuotantoon. Lisäksi käydään läpi lämpötilan säätöjä, asetusarvoa, muutoksia ja niihin vaikuttavia tekijöitä, sekä perehdytään lämpökeskuksen ja lämpövaraston toimintaan sekä verkon akkumulointiin.

4.1 Lämpötilan säädöt

Kaukolämmityksessä käytetyn veden asetusarvoa säädetään ensisijaisesti ulkoilman lämpötilan mukaan. Ulkoilman lämpötila ei suoranaisesti vaikuta verkon lämpötilaan, vaan välillisesti käyttäjien kautta. Ilman viilentyessä lämmön tarve nousee ja tästä johtuen menolämpötilaa joudutaan nostamaan. Lämpötila pyritään pitämään mahdollisimman alhaisena, mutta kuitenkin riittävän suurena kuluttajien lämmönsaannin turvaamiseksi.

Kaukolämpöverkkoon ajetun menoveden lämpötilaa muutetaan asetusarvon mukaan. Talvella ulkoilman lämpötilan laskiessa lämmöntuotanto nostetaan, jolloin sähköntuotanto vastaavasti pienenee. Kulutuksen mukaan noussut lämmöntarve tyydytetään nostamalla menoveden virtauksen määrää, eli menolämpötilaa korotettaessa nostetaan veden lämpötehoa. Menoveden lämpötilalla on ala- ja ylärajat ja niiden arvot muodostuvat useista eri tekijöistä.

Menoveden lämpötilan alaraja määräytyy seuraavien tekijöiden mukaan:

- menoveden absoluuttisena alarajana on käyttövedenlämmittimien ja mahdollisten prosessilaitteiden mitoitus

- seuraavaksi tärkeimpänä tekijänä on kuluttajien lämmön tarve, joka määräytyy ulkolämpötilan ja sääolosuhteiden mukaan
- lämpöhäviöt aiheuttavat lämpötilan laskua lämpöä siirrettäessä kauim-
pana asuville kuluttajille
- Lämpötehon laskentakaava

$$P = F(T_m - T_p) \quad (1)$$

,missä P on teho, F on virtaus, T_m on menoveden lämpötila ja T_p on paluuveden lämpötila

- salmisaarella alin käytetty lämpötila on 86 °C

Menoveden yläraja määräytyy seuraavien tekijöiden perusteella:

- tärkeimpänä tekijänä on verkon rakennelämpötila. Menoveden ylärajana on kuitenkin 120 °C, paineastialain mukaan tämän arvon ylittävät verkot on rekisteröitävä paineastioiksi
- pienemmällä menolämpötilalla saavutetaan parempi sähköntuotanto yhteistuotannossa
- korkeissa lämpötiloissa esiintyy suuria lämpöhäviötä.

Salmisaaren voimalaitoksella paluuveden alin optimaalinen arvo on noin 40 °C. Tämän arvon alittuessa liian kylmä vesi vaurioittaa turbiinia, mikä aiheuttaa matalapainepesässä höyryn kosteutta, mikä taas kuluttaa materiaalia turbiinin ympäriltä. Höyryyn liittyen työssä on mukana päälauhteen PIsäätökaavio (liite 4).

Vuorokautinen kaukolämmön tarve voi vaihdella huomattavasti. Aamuisin lämmön tarve on suurin johtuen yksityisten kuluttajien sekä teollisuuden lämmöntarpeesta. Tähän on varauduttu lataamalla kaukolämpöverkkoa yöllä. Nämä lyhytaikaiset tehon muutokset toteutetaan purkamalla lämpöakkua verkkoon. Akusta otettu lämpö vähentää lämpökeskuksien kulutusta vähentäen näin öljyn kulutusta.

Lämpökeskuksen lämpötilan säätö

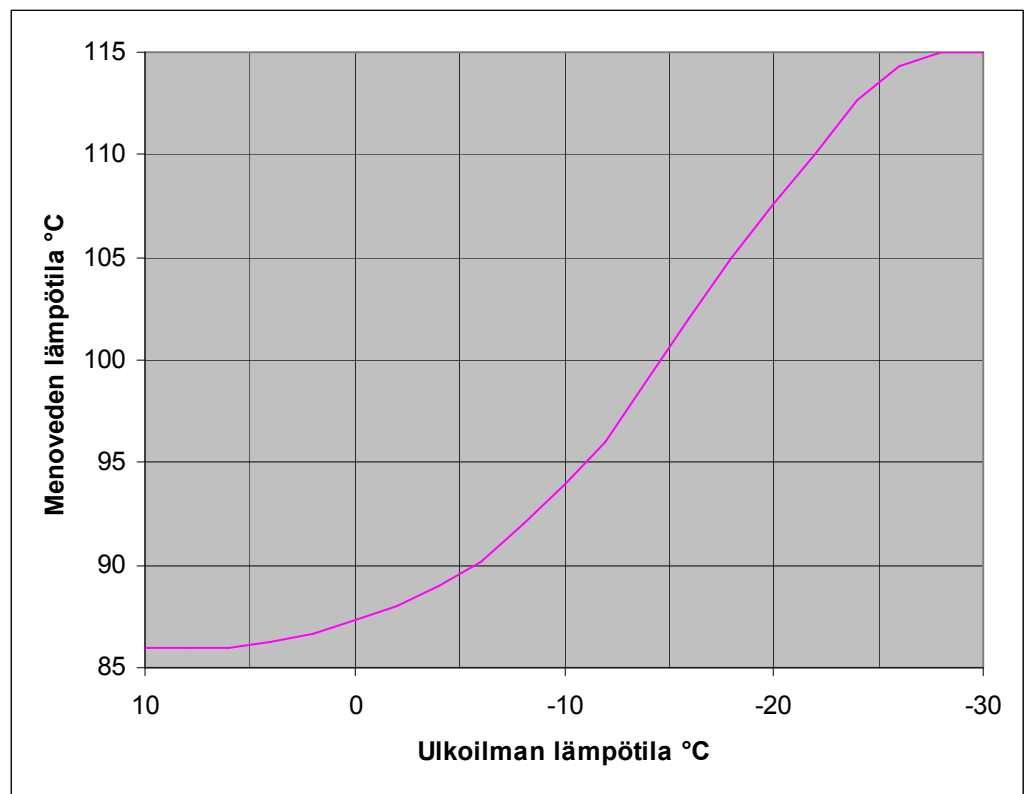
Lämpökeskuksessa veden lämpötilaa säädetään sekoittamalla kattilasta tulevaa vettä paluuveden sekaan ja paluuvettä menoveden sekaan halutun lämpötilan saavuttamiseksi. Tarkoituksena on pitää kattilan lämpötila vakiona korroosioaurioiden syntymisen ehkäisemiseksi.

4.2 Lämpötilan asetusarvo

Menoveden lämpötilan asetusarvo määrittää sen, miten lämmintä vettä laitokselta ajetaan verkkoon. Asetusarvon muutoksilla pyritään vastaamaan kuluttajien lämmöntarpeeseen. Asetusarvoa muutetaan talvella ulkoilman lämpötilan mukaan. Helsingin kaukolämpöverkossa lämpötilaa voidaan muuttaa $1\text{ °C} / 5\text{ min}$. Nopeammilla muutoksilla on haittavaikutuksia verkon kunnolle.

Asetusarvoa muutetaan ohjearvon mukaan. Ohjearvossa pysyminen ei ole olennaista, vaan tärkeintä on riittävä lämmöntuotanto. Ero laitosten lämpötilojen arvojen välillä saa olla enintään 5 °C .

Kuvassa 5 on esitetty Salmisaaren voimalaitoksessa käytetty ohjearvon käyrä menoveden lämpötilalle, jonka mukaan pyritään säätämään tarvittu menoveden arvo.



Kuva 5. Salmisaaren voimalaitoksen käyttämä ohjearvo menoveden lämpötilan säädölle

Kaukolämmön paluuveden lämpötila riippuu kuluttajien käyttämisestä kaukolämpölaitteista, niiden asetuksista ja kytkennöistä, sekä käyttöveden hetkellisistä tarpeista. Viimeksi mainitut seikat muodostuvat ulkoilman lämpötilasta, tehontarpeesta sekä menoveden lämpötilasta.

4.3 Kaukolämpöveden lämpötilan vaikutus lämmön- ja sähköntuotantoon

Tässä kappaleessa selvitetään paitsi lämmön- ja sähköntuotannon riippuvuutta kaukolämpöveden lämpötilasta myös sitä, miten lämmön- ja sähköntuotantoa voidaan muuttaa.

4.3.1 Lämpötilan vaikutus lämmön- ja sähköntuotantoon

Kaukolämpöveden lämpötilalla on suoranainen vaikutus tuotetun sähkön ja lämmön määrään. Salmisaaren voimalaitoksessa tapahtuvilla veden lämpötilamuutoksilla on seuraavanlaiset vaikutukset:

- menoveden noustessa 2.5 °C 1 MW sähköä muuttuu lämmöksi
- paluuv veden noustessa 5.0 °C 1 MW sähköä muuttuu lämmöksi
- menoveden laskiessa 2.5 °C 1 MW lämpöä muuttuu sähköksi
- paluuv veden laskiessa 5.0 °C 1 MW lämpöä muuttuu sähköksi.

Nämä muutokset johtuvat vastapaineen muutoksista voimalaitoksessa. Tilanteessa, jossa menoveden lämpötila nousee, nousee myös vastapaine, jonka vaikutuksesta turbiinissa tapahtuu vähemmän työtä, eli höyrystä pääsee enemmän tehoa läpi kaukolämpöveden lämmitykseen.

4.3.2 Lämmön- ja sähköntuotantomäärien muuttaminen

Akkua ladattaessa lämpötila ennen KLV1:stä nousee, koska akkulämmönvaihdin (ALV) ei pysty jäähdyttämään akkukiertoa. Akkuvirtauksen nopeus määrittää lämpötilan eli suurempi virtausnopeus tarkoittaa suurempaa lämpötilaa.

Mikäli syntyy ylimääräistä höyryä, eli höyryä mikä ei mahdu turbiiniin, otetaan reduktiolämmönvaihdin (KLV3) käyttöön. Tämän seurauksena lämpötila KLV2:n jälkeen laskee, jolloin myös vastapaine laskee ja sähköä saadaan tuotetuksi enemmän.

Tuotetun sähkön määrää voidaan lisätä nostamalla 7-kattilan menoveden lämpötilaa. Tämä mahdollistaa pääblokin lämpötilan laskemisen ja näin koko kompleksin yhteenlaskettu lämpötila pysyy vakiona, eli pääblokin pienemällä menoveden lämpötilalla saadaan enemmän sähköä.

4.4 Lämpötilan muutokset

Tässä luvussa käsitellään kaukolämpöveden lämpötilan muutosten vaikutuksia kaukolämmön käytössä ja tuotannossa, sekä syitä kaukolämpöveden lämpötilan muutoksille. Lisäksi luvussa perehdytään verkon akkumulointiin.

4.4.1 *Vaihteluita kaukolämpöveden lämpötilassa*

Ulkoilman lämpötilan laskiessa lämmön kulutus nousee. Tarvittava lisäenergiamäärä Helsingissä ulkoilman 1 °C:n laskuun on 40 MW. Helsingissä on tarpeeksi kapasiteettia riittävään lämmöntuotantoon.

Lämpöakkuja ladattaessa tai purettaessa veden lämpötilaa nostetaan 2 °C. Muutos on tämän suuruinen akkua purettaessa, koska tarkoituksena on pitää menoveden lämpötila vakiona. Lisäksi nopeat lämpötilanmuutokset syöttöalueiden rajakohdissa rasittavat verkkoa ja johtorakenteita saattaen aiheuttaa jännityksiä ja vuotoja.

Paluuveden lämpötilaan ei voimalaitoksella pystytä vaikuttamaan, vaan kaikki menoveden lämpötilan muutokset johtuvat kuluttajista. Verkon lämpöteho pyritään säilyttämään kulutusta vastaavana. Kovilla pakkasilla voidaan menoveden lämpötilaa nostamalla joko laskea tai hidastaa paluuveden lämpötilan nousua. Tämä perustuu siihen, että menoveden lämpötilaa nostamalla voidaan veden virtausta laskea, koska hitaampi virtaus antaa kuluttajien käytössä oleville laitteille enemmän aikaa absorboida lämpöä vedestä.

Lämpötilaero Salmisaaren voimalaitoksessa on noin 45 - 50 °C. Suuri lämpötilaero mahdollistaa veden virtausnopeuden säilymisen pienenä ja siten kaukolämpöveden pumppauskustannuksissa syntyy säästöä. Tämä vaikuttaa myös kuluttajille myytävän energian hintaan.

4.4.2 *Verkon akkumulointi*

Kaukolämpöverkoissa olevaa energiamäärää voidaan vuoroin ladata ja vuoroin purkaa menoveden lämpötilasäätöä muuttamalla. Lataaminen ja purkaminen tapahtuvat automaattisesti. Kaukolämpöverkoissa ainoastaan virtaus reagoi menolämpötilan muutoksiin ja paine-eroon, paluulämpötilan pysyessä suhteellisen tasaisena.

Latausteho saadaan lasketuksi seuraavalla kaavalla:

$$dQ = k(\Delta T_m F + \Delta F(T_m - T_p)) \quad (2)$$

,missä k on laaduista sekä veden tiheydestä ja ominaislämmöstä johtuva kerroin ($\text{kWh/m}^3, ^\circ\text{C}$), T_m on siirtoverkon menoveden lämpötila ($^\circ\text{C}$), F on vesivirta (m^3/h) ja T_p on siirtoverkon paluuv veden lämpötila ($^\circ\text{C}$).

Johtamalla edellisestä kaavasta dQ :n ollessa nolla saadaan seuraavanlainen kaava tulon nollasäännöllä. Lataustehon aletessa nolnaan akkumulointi laskee automaattisesti nolnaan virtauksen pienentyessä.

$$\frac{F}{V} + \frac{\Delta T_m}{T_m - T_p} \quad (3)$$

Verkkoön akkumuloituneen lämpöenergian määrä on

$$\frac{1}{2} V \Delta T_m \quad (4)$$

,missä $\frac{1}{2}V$ on verkon vesitilavuuden menopuolen osuus. Ohitusventtiilien puutteen takia meno- ja paluuputken välillä verkossa, varastona toimii ainoastaan menoputki /7, s. 14/.

4.5 Virtausnopeuden laskeminen

Tässä luvussa käsitellään höyryturbiinin entalpiaa ja kuinka se lasketaan. Lisäksi perehdytään virtausnopeuden määrittämiseen ja tarvittavan virtauksen laskentatapaan.

4.5.1 Entalpia

Entalpia on jonkin termodynaamisen prosessin potentiaali, jonka avulla voidaan laskea vakio paineessa olevan systeemin käytettävissä oleva työteho.

Entalpian suuruutta itsessään ei voida mitata, vaan se saadaan selville laskemalla sen muutoksia. Entalpia on tilan funktio, joten entalpian muutokseen ei vaikuta se, miten alkutilasta siirrytään lopputilaan. Entalpian tunnusta merkitään H :lla ja sen laskukaava on

$$H = U + pV \quad (5)$$

,missä U on systeemin sisäenergia, p on systeemin paine ja V on tilavuus.

Entalpian muutos on loppu- ja alkutilan entalpioden erotus:

$$\Delta H = H_{\text{loppu}} - H_{\text{alku}} \quad (6)$$

Tämä perustuu Hessin lakiin, jonka mukaan kokonaisreaktion entalpiamuutos on osareaktioiden entalpiamuutosten summa. Entalpian muutos on suoraan riippuvainen ja yhtä suuri kuin siirtyvä lämpöenergia silloin, kuin systeemi tekee vain laajenemiseen liittyvää työtä ja systeemin paineen ollessa yhtä suuri vakiona pysyvän ulkoisen paineen kanssa. Vakiopaineessa toimivassa prosessissa kasvava entalpia tarkoittaa prosessin olevan endoterminen eli lämpöä sitova ja lämpötilan laskiessa prosessi on eksoterminen.

4.5.2 Virtauksen määrittäminen

Kaukolämpöveden virtausnopeus on määriteltävissä seuraavasti. Tarkemman virtausnopeuden laskeminen tapahtuu tietokoneen automaatiojärjestelmän avulla (liite 3). Liite on helposti luettavissa, nuolet menevät laatikoihin, joissa niiden arvoihin kohdistetaan eri funktiota. Laatikoissa olevien lyhenteiden merkitys on seuraava:

- ADD – yhteenlasku
- SUB - vähennyslasku
- MUL – kertolasku
- DIV – jakolasku
- INT – integrointi
- UMS – valitsin, valitsee jonkin arvoista
- SIA – signaalin jakaja, ei tee itse arvoille mitään.

Käsin laskettaessa saadaan hieman epätarkempi ja vain suuntaa antava arvo. Entalpia ei suoraan esiinny tässä, mutta liitteestä on havaittavissa, että sitä on käytetty päähöyryn energian määrittämisessä.

Kun tunnetaan kattilan teho P_k , sähkönsäätö teho P_s , tehohäviö P_h , sekä turbiinin aiheuttama tehohäviö P_t , voidaan laskea kaukolämpöteho P_{kl} . eli yksinkertaistettuna:

$$P_k - P_s - P_h \rightarrow \text{höyryksi} \rightarrow \text{turbiinille} - P_t = P_{kl} \quad (7)$$

Kun tunnetaan lämpötilaero T , sekä veden ominaislämpökapasiteetti C , ja näin saatu lämpöteho jaetaan veden ominaislämpökapasiteetilla ja vesien lämpötilaerolla jolloin saadaan massavirta, jota käytetään virtauksen nopeuden määrittämisessä.

$$\frac{P}{C \cdot T} = \frac{\frac{J}{s}}{\frac{J}{kg \cdot K} \cdot K} = \frac{\frac{1}{s}}{\frac{1}{kg}} = \frac{kg}{s} \quad (8)$$

5 PAINEEN SÄÄTÖ

Tässä luvussa käsitellään kaukolämmössä käytettävää painetta, paine-eroja ja tehosyöttöä sekä selvitetään niiden toimintaperiaatteita. Luvussa käsiteltyyn aiheeseen liittyen työssä on esitelty myös PI-kaavio kaukolämpöpumppujen säädöstä.

5.1 Paine-ero

Paine-erolla on merkittävä osuus kaukolämpöjärjestelmässä. Sillä säädetään kaukolämpöveden virtausmäärää ja tehoa. Paine-ero saadaan aikaan pumppujen paine- ja imupuolen erolla. Paine-eroa voidaan säätää nopeasti kiertopumppujen pyörimisnopeutta säätämällä. Paine-eroa voidaan säätää myös lämpötilan säätöön perustuvilla menetelmillä, mutta nämä ovat hitaita ja yksinään käytettyinä riittämättömiä /4 s. 104/.

Paine-eron säädössä pumppausta tarvitaan putkien ja laitteiden aiheuttaman kitkavoiman voittamiseen. Virtausnopeuden kaksinkertaistuessa painehäviö kasvaa noin nelinkertaiseksi.

Helsingissä kaukolämpöverkossa paine-eron suurin mahdollinen arvo on 66 metriävesipatsasta (6.6 Bar), tätä suurempaan arvoa ei pystytä käytössä ajamaan. Kuluttajien säätöventtiileihin pyritään aina tarjoamaan vähintään 0.5 Barin paine-ero. Verkon menopaineen suurin sallittu arvo on 10 Baria. Salmisaaren voima-laitoksessa paine-eron asetusarvon määrää lämpövoima.

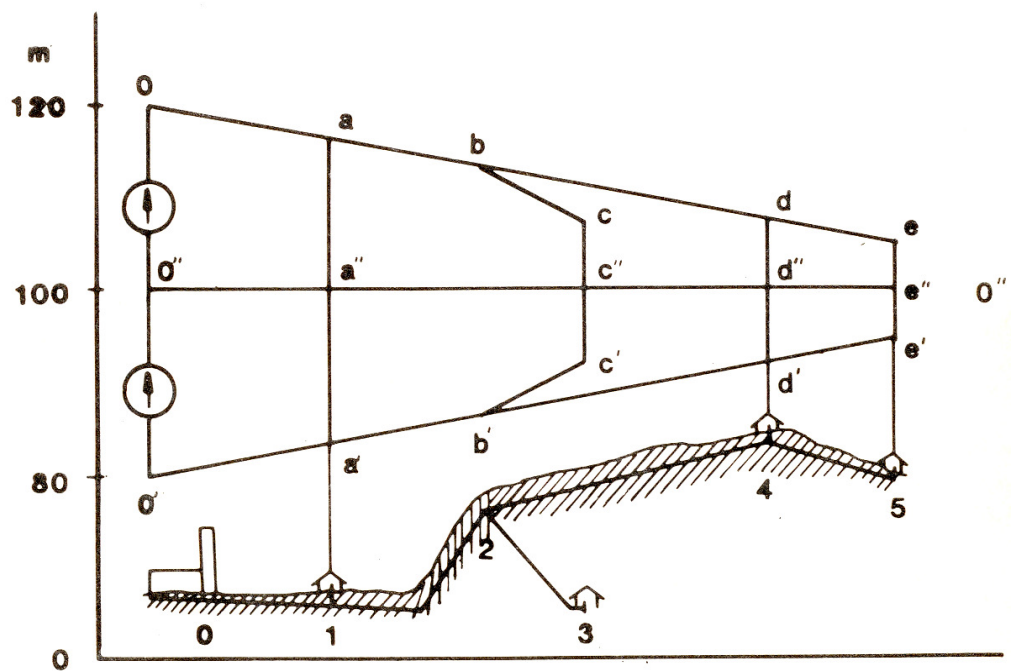
Tehon muutokseen vaikuttavia kulutuksen vaihtelun tekijöitä:

- lämpimän käyttöveden kulutus

- ulkoilman lämpötilan muutos
- sade-/rae-/lumikuurot
- toisen voimalaitoksen käytöstä pois jääminen, käyttöönotto, tai sen tehon muutokset.

Tuotantotehon laskiessa myös paine-ero laskee kulutuksen ollessa vakio, jolloin lisätään tehon syöttöä. Kulutuksen ollessa pienempi kuin tuotanto, paine-ero nousee, jolloin paine-eroa pudotetaan ajamalla lämpöä mereen, eli priimaamalla. Verkkoon syötetyn tehon on aina oltava yhtä suuri kuin kulutus.

Kuvassa 6 on esitetty kriittisen pisteen sijainti kaukolämpöverkossa. Kuvasta ilmenee se, minkä mukaan paine-eron säätö toteutuu. Kuvan kriittinen piste sijaitsee kohdassa 5, jonka paine-eroa kuvaa väli $e-e'$.



Kuva 6. Kaukolämpöverkossa esiintyvä paine-ero /4, s. 105/

5.1.1 Reduktiolämmönvaihdin ja -säädin

Reduktiolämmönvaihtimella (KLV3) tuotetaan ainoastaan lämpöä ja sen käytölle on kolme mahdollista syytä; taloudelliset syyt, ylituotanto ja hätätila.

Lämmönvaihdin otetaan käyttöön, milloin ostosähkö on halvempaa kuin oman vastapainetuotannon sähköntuotantokustannukset ja lämmönkulutus on suuri, jolloin sähköntuotantoa vähennetään ja lämmöntuotantoa lisätään. Tarkoituksena on laskea, paljon maksaa tuottaa lämpöä yksi MW öljyllä ja paljonko hiilellä. Mikäli näiden kahden menettelytavan tuotantokustannusten välinen ero on suurempi kuin sähköstä saatava voitto, niin siinä tapauksessa reduktiolämmönvaihdin otetaan käyttöön vähentämällä sähkötehoa.

Toinen mahdollinen syy lämmönvaihtimen käytölle lämmön tarpeen ollessa suuri on, jos kattilassa olevan höyryn teho on isompi, mitä turbiini pystyy käsittelemään. Tällöin vastapainetuotannon lisäksi otetaan käytössä oleva ylijäävä kattilateho lämmöntuotantoon.

Lämmönvaihdin voidaan ottaa käyttöön myös niissä poikkeuksellisissa tilanteissa, milloin lämpöä ei pystytä tuottamaan riittävästi, esim. erittäin kovilla pakkasilla tai milloin lämpökeskuksissa ilmenee toimintahäiriöitä. Näissä tilanteissa kaukolämpöverkko pidetään toiminnassa kaikin käytettävissä olevin keinoin, koska on mahdollista, että koko verkko romahtaa, jos saatavilla ei ole tarpeeksi lämpötehoa. Tällaisissa tilanteissa sähköä on mahdollista ostaa muualta. Muualta ostettu sähkö saattaa lisätä kustannuksia, koska lämpö on kuitenkin aina tuotettava itse.

Reduktiolämmönsäädin ohjaa lämmönvaihtimeen menevän höyryn määrää. Mittaamalla lämmönvaihtimen höyrynpaine, jonka muutokset ovat nopeampia kuin kaukolämpöveden lämpötilamuutokset, muutetaan näin saatu painearvo lämpötilaksi ja säädetään menoveden lämpötila vastaamaan tätä. Tässä tapahtumassa kaukolämmön vesimäärää muutetaan käsin. Reduktiolämmönvaihdin on käytössä pääasiassa talvisin, jolloin lämpötehon tarve on suurimmillaan.

5.1.2 Paine-eron asetusarvon muutos

Salmisaaren voimalaitoksessa paine-eron asetusarvon ilmoittamisen hoitaa Kampin sähkötalossa sijaitseva lämpövalvomo, jossa on tarpeelliset tiedot niin sanotuista kriittisistä pisteistä ja muista asiaan vaikuttavista tekijöistä.

Paine-eron asetus perustuu kriittisessä pisteessä tapahtuvaan mittaukseen. Tällä tarkoitetaan verkon etäisimmässä tai epäedullisimmassa paikassa sijaitsevia kuluttajia, joille kaukolämpöä siirrettäessä paine-ero on

pienimmillään. Mitatun paine-eron perusteella voidaan varmistaa riittävät toimintaolosuhteet kaikkialla verkostossa.

Kriittisen pisteen löytäminen monimutkaisissa verkoissa saattaa olla vaikeaa, etenkin jos verkossa on rengasyhteyksiä. Rengasyhteys takaa sen, että sähköä saadaan toista kautta, jos toiseen voimajohtoon tulee vika. On myös mahdollista, että kriittisen pisteen sijaintipaikka vaihtelee kuormituksesta ja lämmöntuotantotilanteesta riippuen, mutta se on aina löydettävissä laskennallisesti.

Salmisaaren voimalaitoksessa paine-eron säädön varsinainen toteutus tapahtuu akulla. Tällöin on otettava huomioon, että akku on ainoa automaattinen keino säädellä paine-eroa. Kaikki muut keinot, kuten esimerkiksi priimaus, ovat käsikäyttöisiä. Salmisaaren voimalaitoksessa tätä säätöä ohjaa ihmisen korvannut aikaisemmin mainittu niin sanottu sumea logiikka, jolla pyritään ohjaamaan painetta samalla tavoin, kuin ihminen ohjaisi sitä. Akkua kutsutaan myös tehoreserviksi.

5.2 Sumea logiikka

Tässä kappaleessa selvitetään paine-eron hallinnassa käytettävää sumeaa logiikkaa, joka on käytössä vain Salmisaaren voimalaitoksella ja on toteutettu Contronic 3 -ohjelmointikielellä. Ennen tämän tekniikan käyttöönottoa paine-eron säätämiseen tarvittiin yksi henkilö ja sitä hoidettiin käsiajolla, jolloin tehoa ladattiin akkuun tai tehoa purettiin akusta manuaalisesti. Asian selvittämiseksi logiikan toiminta on kuvattu PI-kaaviona (Liite 1).

5.2.1 Säädön toimintaperiaate

Logiikan ollessa poissa käytöstä, eli sen ollessa käsisäädöllä, paine-eron asetusarvona on sen hetkinen paine-ero.

Käsiikäytöllä logiikka seuraa paine-eron oloarvoa ja se jää säätämään sitä arvoa, mikä oli käytössä ennen kuin se laitettiin automaatile. Logiikan pienin paine-eron asetusarvo on rajoitettu 1.3 Bariin. Paine-eron oloarvon laskiessa alle 0.5 Barin laite ilmoittaa säätöpoikkeaman, -0.8 Bar, hälytyksellä. Hälytys tehdään riippumatta siitä onko säätö automaattisessa käytössä vai ei.

Säätöpoikkeaman raja on aina käytössä. Järjestelmä muuttaa automaattisesti sitä purkamisen tai latauksen asetusarvoa, jonka logiikka on antanut

säätäjille. Ihmistä tarvitaan vain asettamaan logiikka joko purkamaan tai lataamaan.

Lämpövalvomosta ilmoitettaessa voimalaitokselle puretaanko vai ladataanko akkua, ilmoitetaan samalla myös käytettävä asetusarvo. Ilmoituksen jälkeen voimalaitoksessa asetetaan haluttu toiminto päälle ja automatiikka otetaan käyttöön, jonka jälkeen asetusarvo laitetaan kohdalleen. Tämän jälkeen logiikka katsoo tilanteen ja vertailee haluttua arvoa senhetkiseen arvoon.

5.2.2 Säättötasot

Sumealla logiikalla on neljä eri säättötasoa. Nämä ovat ± 2 ja 4 metriävesipatsasta. Logiikka tarkastaa puolentoista minuutin välein tilanteen ja sen toiminta eri alueilla on seuraava:

- ± 2 mvp alueen sisäpuolella, ei tee mitään
- ± 2 mvp, vähentää/lisää purkua 40 t/h akusta
- ± 4 mvp, vähentää/lisää purkua 80 t/h akusta
- muutos ± 2 mvp/min vähentää/lisää purkua 40 t/h akusta
- muutos ± 4 mvp/min vähentää/lisää purkua 80 t/h akusta
- poikkeuksena on ± 4 mvp/min, jota valvotaan myös puolentoista minuutin tarkistuskierroksen ulkopuolella, eli yllättävään laskuun tai nousuun reagoidaan heti joko lisäämällä tai vähentämällä purkua kerran 500 t/h.

Normaalisti paineen ollessa korkea ja laskeva, ei ryhdytä mihinkään toimenpiteisiin. Päinvastaisessa tilanteessa, jolloin paine on matala, mutta nouseva, ei liioin ryhdytä mihinkään toimenpiteisiin.

Säättötasoissa käytettävät tonnimäärät ovat riippuvaisia lämpötehon tarpeesta. Muutosyksikkö on 90 °C:n lämpötilassa 40 t/h. Korkeampiin lämpötiloihin siirryttäessä muutosyksikkö kasvaa suuremmaksi johtuen isommasta kulutuksesta. Esim. 100 °C:n lämpötilassa muutosyksikkö on 60 t/h.

Verkon koolla tarkoitetaan verkossa olevaa, ulkoilman lämpötilasta johtuvaa lämpökuormaa. Korkea menoveden lämpötila tarkoittaa, että myös verkon koko on suuri. Vastaavasti pienemmällä menoveden lämpötiloilla myös verkon koko on pieni.

Muutosten suuruus on riippuvainen verkon koosta. Kesäisin kulutuksen ollessa pieni myös muutosten on oltava pieniä ja talvisin kulutuksen ollessa

suuri myös muutosten on oltava suuria. Vesimäärän vaikutus paine-eroon on pienempi talvisin kuin kesäisin johtuen juuri verkon koosta. Kesäisin verkon koko on noin 200 MW ja talvella 2 500 MW.

5.2.3 Syöttörajat ja hälytykset

Latauksen tai purkamisen pienentyessä arvoon 200 t/h logiikka lopettaa säätämisen alaspäin, hälyttää asiasta ja ilmoittaa säätövaran olevan loppu. Logiikan toiminta latauksen tai purkamisen noustessa on samanlainen, silloin äärirajana on 2 400 t/h. Molemmissa tapauksissa, kun ääri raja on saavutettu, logiikka ei enää säädä ääriajan yli, mutta se voi säätää ääriajasta takaisin päin.

Kuluttajille menevän vesimäärän alaraja on 500 t ja vastaava yläraja on 7 800 t. Rajan ylittyessä logiikka tekee hälytyksen ja ilmoittaa asiasta. Logiikka ei myöskään säädä enää rajaan päin, mutta voi säätää rajasta pois päin.

Verkkoon työnnettävän veden maksimimäärä on 8 000 t. Säätö on normaali-toiminnassa rauhallinen eli muutokset tapahtuvat vähitellen.

Menopaineen suurin sallittu arvo on 10 Baria, mikä on yhtä kuin verkon rakenteen kestävyys. Logiikka tekee hälytyksen paineen ylittäessä 9.8 Barin arvon ja alkaa säätää menopainetta.

Säädön ollessa automaattisessa käytössä, ei säädössä käytetty asetusarvo ole vakio. Esimerkiksi kuluttajille menevän vesimäärän kasvaessa 1 000 t/h, asetusarvoon lisätään 1.7 m ja päinvastoin, latauksen ollessa toiminnassa asetusarvoa pienennetään. Tällä asetusarvon muutoksella pyritään kompensoimaan lisääntyneen kulutuksen aiheuttamia paine-eromuutoksia ja säilyttämään riittävä paine-ero verkossa.

Sumea logiikka voi toimia rinnan perinteisen säädön, esim. lämpökeskuksen tai pumppausaseman säädön kanssa. Tämä perustuu siihen, että yhtä aikaa ei saa olla käytössä kahta tarkkaa säätöä. Tällaisessa tilanteessa laitokset vain kilpailisivat keskenään. Yhdessä laitoksessa havaittaessa toisen laitoksen paine-eron laskevan tai nousevan, toinen laitos kompensoisi tilannetta, mikä puolestaan johtaisi siihen, että toisen laitoksen syöttöteho nousisi maksimiin ja toisen laskisi minimiin. Sumea logiikka ei tee mitään ± 2 mvp tai mvp/min alueella, eli siinä on hystereesiä, mikä mahdollistaa kahden säädön

yhteistoiminnan. Hystereesi on jonkin järjestelmän ominaisuus, joka hidastaa muutoksiin reagoimista tai estää systeemiä palaamasta alkuperäiseen tilaansa.

5.3 Tehosyöttö

Kaukolämmön tehosyötöllä tarkoitetaan verkkoon syötettyä lämpötehoa, eli karkeasti sanottuna meno- ja paluuvesien lämpötilaeron ja massavirran muodostamaa kokonaisuutta.

5.3.1 Tehosyötön muutos

Tehosyötön muutokset toteutetaan joko virtausta tai menoveden lämpötilaa muuttamalla. Lämpötilan muuttaminen tapahtuu asetusarvoa muuttamalla ja asetusarvoa muutetaan ainoastaan ulkoilman lämpötilan mukaan. Helpompaa on säätää virtaus, joka paine-eroa muuttamalla voidaan säätää halutun kokoiseksi.

Veden sisältämä lämpöenergia voidaan laskea, kun tiedetään sen virtausnopeus sekä meno- ja paluuvesien lämpötilaero. Laskennassa on otettava huomioon veden ominaislämpökapasiteetti. Tehon laskeminen on yksinkertainen toimenpide, jossa kertomalla tiedetyt kolme arvoa keskenään saadaan suoraan tehon arvo.

$$P = c \cdot T \cdot q_m \quad (9)$$

,missä

- P on teho
- c on veden ominaislämpökapasiteetti
- T on vesien lämpötilaero
- q_m on veden massavirta.

5.3.2 Tapoja lämpötehon säätämiseksi

Ohessa on yleisimmät käytetyt kaukolämpöveden tehoon vaikuttavat tavat. Listassa on myös tapoja mitä Salmisaaren voimalaitoksessa ei ole käytössä.

- kaukolämpöakku
 - pääasiallinen keino
 - nopea
 - edullinen

- öljyllä tai maakaasulla toimiva kaukolämpökattila
 - akkua huomattavasti kalliimpi vaihtoehto
- reduktioasema/lämmönvaihdin
 - sähkön hinnan ollessa alhainen käyttö on järkevää
 - tuotantokustannukset korkeammat kuin K7-hiilikäyttöisellä kaukolämpökattilalla, koska syöttövesipumppu kuluttaa energiaa aiheuttaen ylimääräisiä kustannuksia
- turbiinin väliottolämmönvaihdin
 - ei Salmisaaren voimalaitoksessa
 - yleisemmin käytetty teollisuudessa
- priimaus
 - käytetään, jos kaukolämmön kulutus on liian pieni
 - sähkön myyntihinta korkea, eikä lämmölle ole tarvetta
- hiilellä toimiva kaukolämpökattila
 - hidas
 - pienet säätövarat
- turbiinin tehon muutokset vastapainevoimalaitoksessa
 - kuluttajien kanssa on ennalta sovittu tuotetusta sähkömäärästä, joten tämä on harvemmin käytettävä keino.

5.3.3 Tehonsäätö

Tavanomaisessa kaukolämpöverkossa saa olla vain yksi tarkka paineerosäätö. Tilanteessa, jossa on kaksi säätävää laitosta, toinen menee minimiteholle ja toinen maksimiteholle. Salmisaaren säätö, mikä on toteutettu sumealla logiikalla, mahdollistaa kahden säätäjän samanaikaisen käytön.

Säätäjä on voimalaitos, mikä syöttää vettä kaukolämpöverkkoon ja pystyy näin vaikuttamaan verkon toimintaan. Seuraavaksi on listattu erilaisia säätötapoja, joilla säätäjät pystyvät vaikuttamaan verkon paine-eroon.

Menopainesäätö

- toimii hyvin häiriöttömässä verkossa
- reagoi turhiin keskipaineheilahduksiin
- reagoi väärin isoissa vuodoissa, keskipaine laskee ja sen seurauksena myös meno- ja paluupaine. Säätö lisää virtausta, jolloin paluupaine laskee edelleen, kunnes kavitointisuoja pysäyttää kaukolämpöpumpun ja laitos menee pikasulkuun

Paine-erosäätö

- järkevä säätötapa, joka toimii hyvin melkein kaikissa tilanteissa, vaatii kuitenkin erillisin max-menopaine rajoitussäädön

Käsisäätö

- vaatii toimiakseen yhden miehen. Verkon tehontarve voi nousta muutamissa minuuteissa 30 %, esim. kova tuuli ja vesi- tai raekuuro voi aiheuttaa tällaisen nousun. Romahtaneen verkon palauttaminen normaalitilaan vaatii erittäin suuren tehon.

6 KESKIPAIINEEN SÄÄTÖ

Tässä luvussa tarkastellaan kaukolämmön keskipainetta, mitä se on, mihin sitä käytetään ja mitä vaikutuksia sillä on koko verkon toiminnan kannalta. Luvun aiheeseen liittyen työssä on mukana PI-kaavio kaukolämpöverkon paineen säädöstä (liite 6).

6.1 Keskipaineen merkitys

Keskipainetta kutsutaan myös painetasoksi. Keskipaineella tarkoitetaan verkoston kokonaispainetta ja se säädetään siten, että vesi kiertää häiriöttä suljetussa systeemissä. Tämän toteuttamiseksi ylipaineen on oltava joka kohdassa riittävä alipaineen ja veden höyrystymisen estämiseksi. Keskipaineella kompensoidaan veden lämpötilanvaihteluista johtuvia tilavuusmuutoksia.

Keskipaineen säätöä tarvitaan

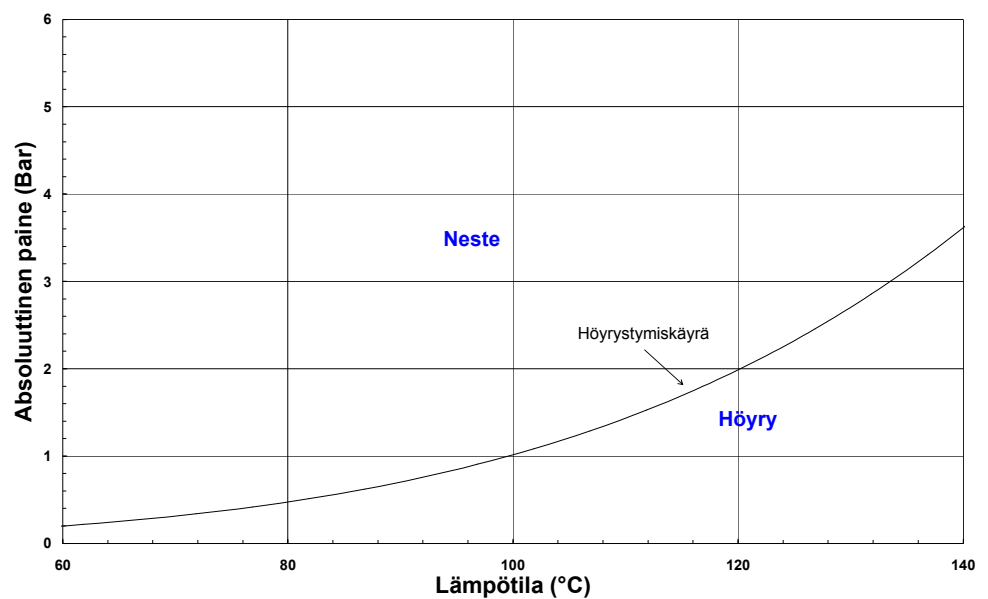
- kompensoimaan veden lämpötilavaihteluista johtuvia tilavuusmuutoksia
- varmistamaan lämmön saanti kaikille kaukolämpöverkon kuluttajille
- varmistamaan, etteivät kaukolämpöpumput kavitoi. Pumpuissa on oltava vähintään 1.5 Baria painetta, joskin tämä on riippuvainen käytössä olevasta kaukolämpötehosta
- kompensoimaan vuotoja ja putkiston täyttöjä, joita Salmisaaren ja Hanaaaren voimalaitokset säätävät, Vuosaaren voimalaitos tuottaa kaukolämpöä menetetyille tilalle
- ehkäisemään verkon rakennepaineen ylityksiä. Rakennepaineen suurin mahdollinen arvo on 10 Baria.

6.1.1 Höyrystyminen ja alipaine

Menoveden lämpötilan ollessa korkea höyrystymisvaara on suurimmillaan korkealla sijaitsevilla kuumilla lämmityspinnoilla, säätöventtiilien paluupuolella ja pumppujen imupuolella. Höyrystyminen putkistossa hidastaa veden virtausnopeutta tai estää sen virtaamisen kokonaan.

Kaukolämpöverkon maantieteellisesti korkeimmissa kohdissa hydrostaattisen paineen aiheuttama imu voi olla huomattavakin. Tämä imu aiheuttaa paineen laskua, mikä voi johtaa alipaineen muodostumiseen. Tämän välttämiseksi tulee keskipaineen olla riittävän korkea.

Kuvassa 7 on esitetty veden faasidiagrammi. Siitä ilmenee veden olomuodon riippuvuus paineesta ja lämpötilasta johtuen. Kuvaan on otettu vain kaukolämmön alueella oleva osuus.



Kuva 7. Veden olomuodon riippuvuus paineesta ja lämpötilasta

Alipaineessa vedessä olevat kaasut saattavat erottua ja lisäksi putkiston epätiiviyden johdosta verkostoon saattaa tunkeutua ilmaa, jolloin muodostuvat ilma- ja kaasutaskut jarruttavat veden kiertoa. Liian pienen imupaineen vuoksi vesi höyrystyy pumpuissa kupliksi, jotka joutuessaan juoksupyörän alapuolelle räjähdysnomaisesti tiivistyvät vedeksi aiheuttaen siiven pintaan vesi-iskuja. Tämä kavitaatioilmiö pilaa nopeasti juoksupyörän siivenreunat ja sen estämiseksi paluuputkessa olevan imupaineen on oltava riittävästi suuri.

Höyryn muodostumisen estämiseksi höyrynpaineen on oltava matalampi kuin putkessa vallitsevan paine eli seuraavan yhtälön tulee toteutua:

$$H_s + H_p - \Delta H > H + \frac{p_h}{\rho g} \quad (10)$$

,missä

- H_s = putkistossa vallitseva staattinen painekorkeus (keskipaine)
- H_p = pumpun painekorkeus (keskipaineesta laskettuna)
- ΔH = kitkapainehäviö pumpun ja tarkastettavan pisteen välillä
- H = tarkastettavan pisteen maantieteellinen korkeus
- $\frac{p_h}{\rho g}$ = veden höyrynpainetta vastaava painekorkeus.

Paineen ollessa riittävä suljetussa putkistossa veden kiertoon eivät pääse vaikuttamaan ala- eivätkä liioin ylämäet.

6.1.2 Kavitaatio

Kavitaatio on termi, jolla kuvataan tyhjiöiden ja kuplien käyttäytymistä nesteessä. Kaukolämmössä tämä ilmiö on havaittavissa höyrykuplina kaukolämpöveden joukossa sekä höyrykattiloissa. Kavitaatiota esiintyy veden paineen laskiessa liian alhaiseksi, jolloin vesi höyrystyy. Luhistuessaan räjähdysnomaisesti nämä höyrykuplat vaurioittavat pumppuja ja verkkoa. Ilmiössä muodostuva höyry lisää virtausnopeutta ja vähentää veden kiertoa. Kaukolämpöverkossa kavitaatiota esiintyy putkiston taitekohdissa sekä pumppujen imupuolella.

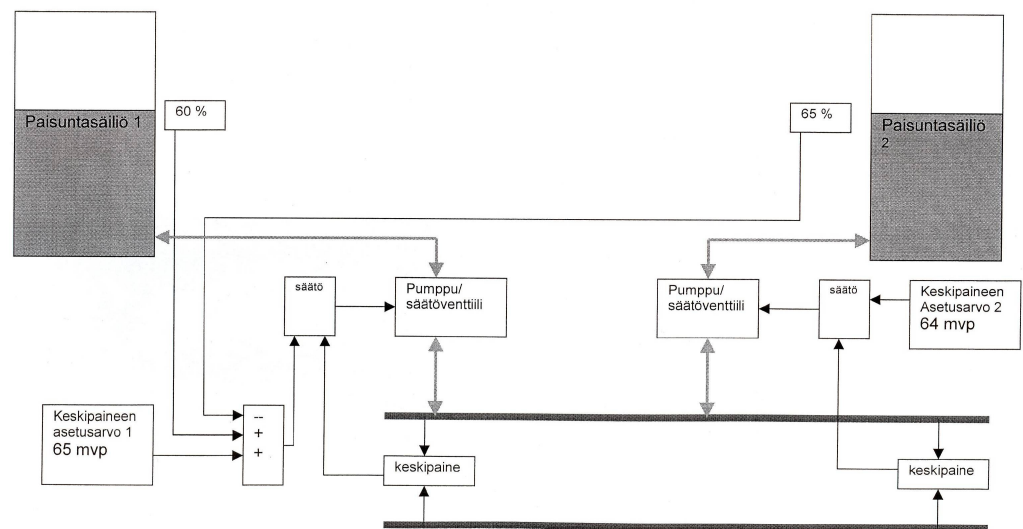
6.2 Keskipaineen säätö

Helsingin kaupungin alueella kaukolämpöverkon paineen säätöalue jää maastosta johtuvan pienimmän paluupaineen ja verkon rakennepaineen väliin, ollen 3:n ja 10 Barin alueella. Pienin mahdollinen keskipaine on 6.5 Baria, jolla arvolla maantieteellisesti korkeimmilla paikoilla asuville kuluttajille on mahdollista johtaa kaukolämpöä.

Salmisaaren voimalaitoksessa paineen säätö on toteutettu siten, että Salmisaaren ja Hanasaaren voimalaitokset pystyvät säätämään keskipainetta samanaikaisesti. Näin menetellen saavutetaan se hyöty, että pysytään

paremmin asetusarvossa sekä saavutetaan suurempi toimintavarmuus häiriötilanteissa.

Kuvassa 8 on esitetty keskipaineen säädön toteutus kahdella paisuntasäiliöllä. Siitä ilmenee miten Paisuntasäiliö 2:n tiedot siirtyvät Paisuntasäiliö 1:n laitokselle ja mitä tällä tiedolla tehdään.



Kuva 8. Keskipaineen säätö kahdella paisuntasäiliöllä

Kuvasta ilmenee keskipaineen säädön toimintaperiaate Salmisaaren voimalaitoksessa. Vasemmalla puolella oleva Paisuntasäiliö 1 on Salmisaaren voimalaitos ja oikealla puolella on Paisuntasäiliö 2 eli Hanasaaren voimalaitos. Kuvasta ilmenevät mittaussignaalien kulku ja operaatiot.

6.2.1 Keskipaineen säädön toiminta

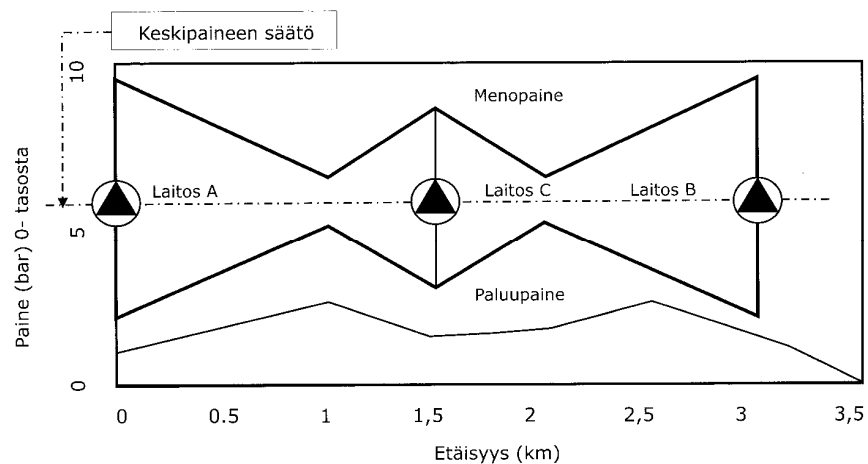
Tarkastellaan seuraavaksi kuviteltua tilannetta, jossa kaukolämpöputkistossa on vuoto. Kun Hanasaaren voimalaitoksessa havaitaan keskipaineen putoaminen, sitä ryhdytään korjaamaan työntämällä vettä verkostoon häviön kompensoimiseksi. Keskipaineen lasku havaitaan myös Salmisaaren voimalaitoksessa ja lisäksi saadaan tieto Hanasaaren voimalaitoksen paisuntasäiliön muutoksesta, josta syystä Salmisaaren voimalaitoksessa ruvetaan ajamaan vettä paisuntasäiliöstä verkkoon. Kun tilanne on normalisoitu, Hanasaaren voimalaitoksessa havaitaan keskipaineen nousu verkossa olevan ylimääräisen veden takia ja vettä aletaan pumpata takaisin säiliöön. Salmisaaren voimalaitoksessa vastataan tähän vähentämällä veden syöttöä verkkoon. Näin tilanne normalisoituu vähitellen sellaiseksi, jossa paisuntasäiliöiden pinnat ovat tasan.

Vaikkei verkossa olisikaan mitään muutoksia, pumput ovat toiminnassa jatkuvasti ja pumppaavat vettä yhtä paljon sisään ja ulos. Näin menetellen vältetään pumppujen ylikuumentumiselta.

6.2.2 Moniosaisen kaukolämpöverkon keskipaineen säätö

Kaukolämpöverkoissa on yleensä vain yksi keskipaineen säätäjä, poikkeuksena edellä mainittu verkko, missä Salmisaaren voimalaitos on mukana. Siitä huolimatta, että usea tuotantolaitos syöttää lämpöä suureen kaukolämpöverkkoon samanaikaisesti, saadaan keskipainetta säätää vain yhdessä laitoksessa. Toisaalta suuri verkko voidaan jakaa pienemmiksi syöttöalueiksi sulkemalla väliventtiilejä. Tällöin jokainen osa vaatii oman keskipaineen säädön.

Alla olevasta kuvasta ilmenee miten paine-ero muuttuu siirryttäessä laitoksesta toiseen. Kuvasta voi myös nähdä, että pysytään keskipaineen yläpuolella jatkuvasti.



Kuva 9. Useamman tuotantolaitoksen syöttämän kaukolämpöverkon painekuvaaja /1, s. 238/

Kuvan kaukolämpöverkosta on havaittavissa, miten jokaisen lohkon laitos noudattaa annettua keskipaineen asetusarvoa ja miten kukin laitos on asettanut paine-eron siten, että kauimpanakin asuville kuluttajille pystytään takaamaan tarpeeksi suuri paine-ero riittävän lämpötehon varmistamiseksi /1, s. 338/.

7 YHTEENVETO

Tässä työssä on käsitelty Salmisaaren voimalaitoksen kaukolämmön pääsäättöjä, keskittyen lämpötilan, paineen ja keskipaineen säätöihin. Tavoitteena on ollut saattaa puhuttu tieto kirjalliseen muotoon ja dokumentoida asiat myöhempää käyttöä varten.

Työn kokonaiskesto oli noin yhdeksän kuukautta. Käytetty aika sisältää lähdekirjallisuuden läpikäymisen, itse aiheeseen ja prosessiin tutustumisen sekä lopputyön valmiiksi saattamisen. Työn tekemistä hankaloitti se, että lähdekirjallisuutta aiheesta oli erittäin niukasti satavilla sekä se, ettei vastaavalaisesta aiheesta ole juurikaan kirjoitettu ennestään kovin paljon.

Työ oli melko itsenäistä ja sen suunnittelu ja toteutus olivat pääosin työn tekijän vapaassa harkinnassa. Ainoastaan tietyt ennalta määrätyt aiheen pääkohdat ohjasivat toteuttamista. Työ valmistui suunnitelmien mukaisesti ennalta asetetun ajan sisällä.

Tästä työstä on epäilemättä hyötyä jokaiselle, joka joutuu tekemisiin Salmisaaren voimalaitoksen kaukolämpöön liittyvien asioiden kanssa. Vaikka työssä ei olekaan voitu käsitellä kaikkea, työstä saa kuitenkin hyvän käsityksen, mistä on pääasiassa kyse.

LÄHTEET

- /1/ *Kaukolämmön käsikirja*. Energiateollisuuden julkaisu, Helsinki: Libris Oy. 2006.
- /2/ Sipilä Kari, VTT, Tutkimuksia 332, *Lämmön varastointi Kuopion kaukolämpöjärjestelmässä*. Espoo: VTT OFFSETPAINO. 1985.
- /3/ *Salmisaaren esite 2000*. Yrityksen sisäinen dokumentti.
- /4/ Huovilainen R T—Koskelainen L, *Kaukolämmitys*, Lappeenranta: 1982.
- /5/ Ranne Aulis, VTT, Tiedotteita 340, *Sähkön käyttö kaukolämmön tuotannossa*. Espoo: VTT OFFSETPAINO. 1984.
- /6/ Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus (INSKO), *Kaukolämpöenergian hankinta ja lämmöntuotanto*. Helsinki: Insinööritieto Oy. 1985.
- /7/ Parkkinen Harri—Fogelholm Carl-Johan, *Kaukolämmön meno- ja paluulämpötilojen pudottamismahdollisuudet vanhoissa verkoissa*. Helsinki: Picaset Oy. 2001.

LIITELUETTELO

Liite 1. Kaukolämmön paine-eron säätö

Liite 2. Teknisiä tietoja Salmisaaren voimalaitoksista

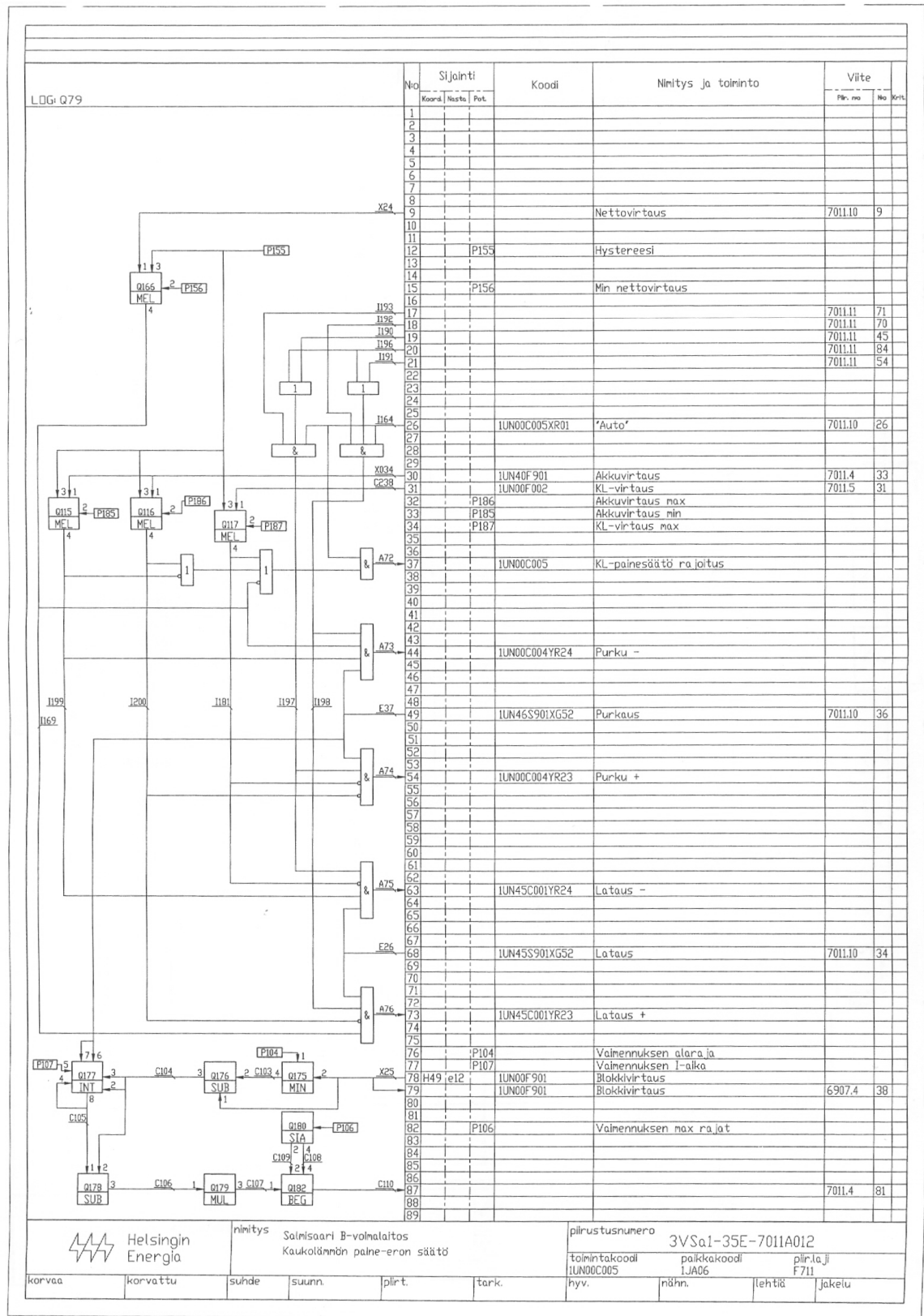
Liite 3. Kaukolämpöpumppujen säätö

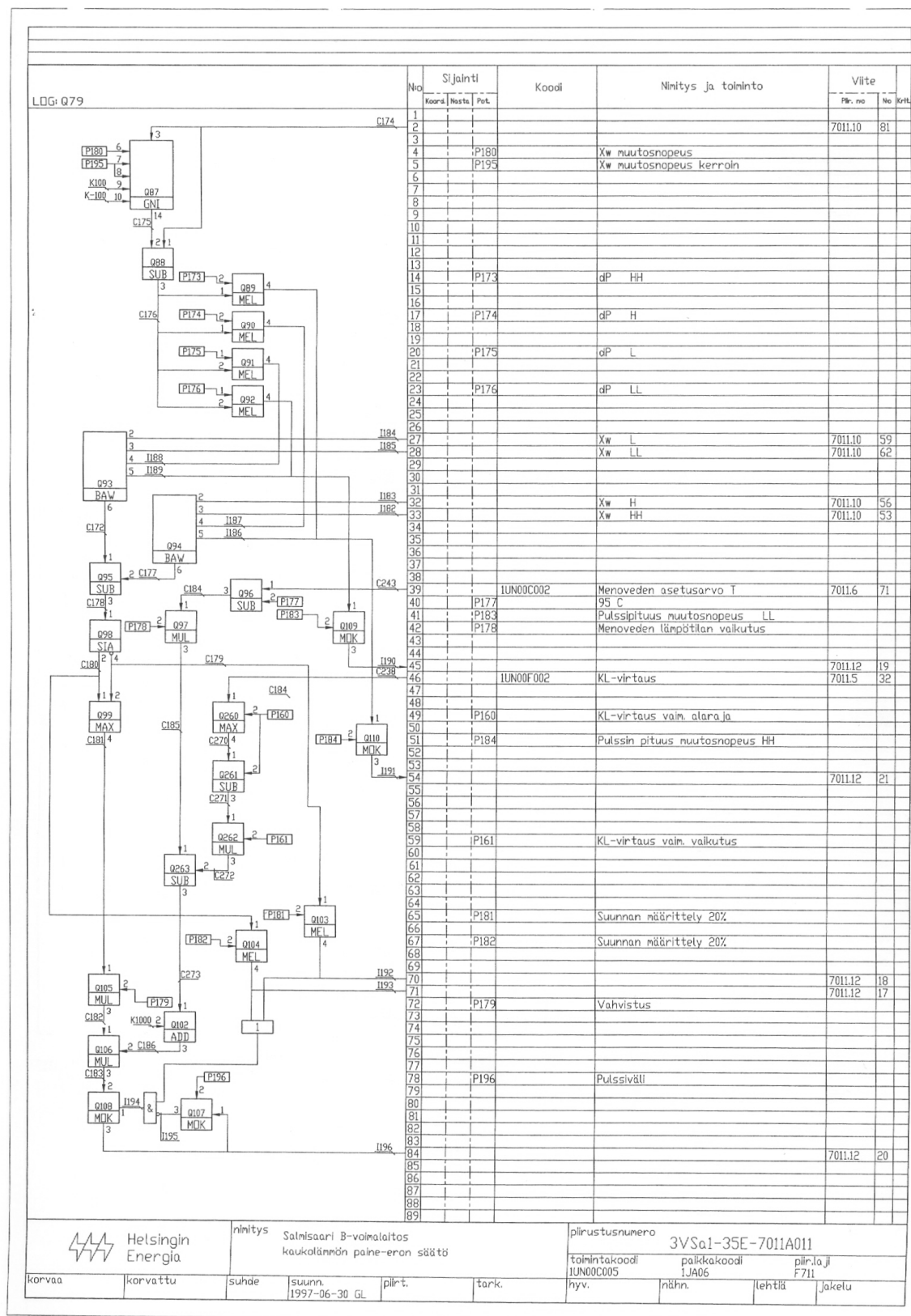
Liite 4. Päälauhteen säätökaavio

Liite 5. Kaukolämpöveden kierrätyksen säätö

Liite 6. Kaukolämpöverkon paineen säätö

Liite 7. Blokin pääsäätökaavio







SALMISAAREN VOIMALAITOKSET

Perustietoa

	Salmisaari A	Salmisaari B
Kaupalliseen käyttöön	1986	1984
Henkilöstö	Salmisaaren voimalaitoksilla työskentelee yhteensä noin 100 henkilöä	
Sähköteho (netto)	-	160 MW
Kaukolämpöteho	180 MW	300 MW
Kivihiilen käyttö	50 kt/a	450 kt/a
Polttoöljyn käyttö	0.3 kt/a	2.7 kt/a
Kattilat	1 kpl	1 kpl
Höyryturbiinit	-	1 kpl
Hyötysuhde	92 %	89 %

Päästöjen hallinta

	Salmisaari A	Salmisaari B
Partikkelit	3-kenttäinen sähkösuodatin	8-kenttäinen sähkösuodatin
Rikkidioksidi	Savukaasut johdetaan puolikuivalla menetelmällä toimivaan laitosten yhteiseen rikinpoistolaitokseen	Savukaasut johdetaan puolikuivalla menetelmällä toimivaan laitosten yhteiseen rikinpoistolaitokseen
Typen oksidit	Typen oksidien muodostumista rajoittaa tulipesän alhainen lämpötila (<800 °C)	Vaiheistettu poltto, yläilma

LAITETIEDOT

Salmisaari A

Kattila K7	Käyttöönotto	1986
	Valmistaja	A. Ahlsröm Oy
	Tyyppi	suorakytkentäinen vesikattila nurkkapoltolla
	Nimellisteho	180 MW
	Tuotettu paine	16 bar
	Tuotettu lämpötila	120 °C
	Hyötysuhde	92 %
	Polttoaine	hiilipöly
	Käynnistyspolttoaine	raskas polttoöljy
	Valmistaja	Claudius Peters
Hiilimyllyt	Lukumäärä	2 kpl
	Tyyppi	kuularengasmylly
	Nimellisteho	15 t/h, 4.1 kg/s
Kaukolämpöpumppu	Valmistaja	A. Ahlsröm Oy
	Tuotto	3000 t/h, 833 kg/s
	Nostokorkeus	100 m
	Ottoteho	1000 kW
Automaatio	Toimittaja	Siemens Oy
	Tyyppi	Teleperm M
Kattila K6	Käyttöönotto	1978
	Valmistaja	Witermo Oy
	Tyyppi	suorakytkentäinen vesikattila
	Nimellisteho	3 x 40 MW
	Hyötysuhde	92 %
	Polttoaine	raskas polttoöljy
Lämpöakku	Käyttöönotto	1987
	Tilavuus	2 x 10 000 m ³
	Maksimienergiasäilytys	1000 MWh
	Lataus/purkausteho	120 MW
	Lämpötila	99.5 °C

Salmisaari B

Kattila K1	Käyttöönotto	1984
	Valmistaja	A. Ahlström Oy
	Tyyppi	luonnokiertohöyrykattila nurkkapoltolla
	Tuorehöyryn pääarvot	136 bar/ 535 °C
	Nimellisteho	463 MW
	Höyryntuotanto	725 t/h
	Hyötysuhde	92.30 %
	Pääpolttoaine	hiiliipöly
	Käynnistys/varapolttoaine	raskas polttoöljy
Hiilenjakajat	Valmistaja	Lönnström Oy, Consilium Bulk
	Lukumäärä	4 kpl
	Tyyppi	lamellikuljetin
	Nimellisteho	25 t/h, 6.9 kg/s
Hiilimyllyt	Valmistaja	Claudius Peters
	Lukumäärä	4 kpl
	Tyyppi	kuularengasmylly
	Nimellisteho	25 t/h, 6.9 kg/s
Höyryturbiini	Valmistaja	Lang Maschinenfabrik, Unkari
	Tyyppi	kaksipesäinen väliottovastapaineturbiini
	Nimellisteho	160 MW
Generaattori	Valmistaja	Brown Boveri
	Tyyppi	WX21L-092
	Nimellisteho	188 MVA
	Staattoriännite	15 kV
	Jäähdytys	ilma/vesi
Kaukolämpölaitteet		
Lämmönvaihtimet	Valmistaja	A. Ahlström Oy
	Tehot	
	-vastapainelämmönvaihdin 1	150 MW
	-vastapainelämmönvaihdin 2	150 MW
	-ohituslämmönvaihdin	350 MW
Kaukolämpöpumput	Lukumäärä	2 kpl, sarjakykentä
	Valmistaja	A. Ahlström Oy
	Tuotto/pumppu	4000 t/h, 1110 kg/s
	Nostokorkeus/pumppu	48 m
	Moottoriteho/pumppu	2 x 525 kW
Priimauspumppu	Valmistaja	A. Ahlström Oy
	Tuotto	5200 t/h, 1445 kg/s
	Nostokorkeus	25 m
	Moottoriteho	525 kW
Muuntajat	Valmistaja	Oy Strömberg Ab
Päämuuntajat	Generaattorin nostomuuntaja	
	-teho	188 MVA
	-jännite	15/118 kV
	Omakäyttöhaaramuuntaja	
	-teho	20 MVA
	-jännite	15/6.3 kV
	Omakäyttömuuntaja	
	-teho	25 MVA
	-jännite	110/6.3 kV
Automaatio		
Yleisautomaatio	Toimittaja	Hartmann & Braun
	Tyyppi	Contronic 3
Prosessilaskenta ja raportointi	Toimittaja	Valmet Automation Oy
	Tyyppi	Damatic XD/XIS

Maanalainen hiilivarasto SAHI

	Käyttöönotto	2004
	Tunneleiden pituus yhteensä	n. 4.5 km
	Varaston alin kohta	n. -120 m
	Toimittaja	Eurosiilo
	Lukumäärä	4 kpl
Siilot	Mitat	H 65 m x D 40 m
	Varastointikapasiteetti	250 000 m ³ (n. ½ vuoden hiili laitoksille)
	Toimittaja	Roxon
	Yhteinen pituus	n. 800 m
Vaakakuljettimet	Toimittaja	Metso
	Nostokorkeus	86 m
	Siirtoteho	500 t/h, 138.9 kg/s
Pystynostin	Valmistaja	Kone Oy
	Pitkiä kuljettimia	10 kpl
	Yhteinen pituus	1700 m

Maanalaiset öljyvarastot

	Varastontikapasiteetti	
	-kevyt polttoöljy	50 000 m3
	-raskas polttoöljy	2 x 75 000 m3

Satama

	Väylän syvyys	8.9 m
	Laiturin pituus	140 m
Hiilenpurkauslaitteet	Lukumäärä	4 kpl
	Tyyppi	suppilo
	Yhteinen teho	2000 t/h, 555.6 kg/s
Öljypurkauslaitteet	Lukumäärä	1 kpl
	Tyyppi	purkausvarsi
	Teho	500 t/h

Rikinpoistolaitos SARI

	Käyttöönotto	1987
	Valmistaja	Suomen Puhallintehdas Oy
	Tyyppi	puolikuiva menetelmä
	Erotusaste	87 %
	Savukaasun massavirta	1200 kNm3/h
	Rakenne	kaksi rinnakaista reaktoria
Reaktori	Tyyppi	pystys. lieriö
	Mitat	2 kpl H 43 m x D 11 m
	Valmistaja	Konepaja A. Grönroos
Puhdistin	Tyyppi	letkusuodatin
	Suodatinletkun mitat	2 x 3024 kpl, H 6000 mm x D 125 mm
	Valmistaja	Suomen Puhallintehdas Oy
	Teho	puhdistimen jälkeen max. 50 mg/nm3
Puhallin	Tyyppi	aksiaalipuhallin, n=750 l/min
	Mitat	4000 mm D
	Valmistaja	Suomen Puhallintehdas Oy
	Moottoriteho	2000 kW
Paineilmalaitos	Tyyppi	ruuvikompressori 5 kpl
	Valmistaja	Tamrock
	Moottoriteho	172.5 m3/min, 1250 kW


Kellosaari

Kellosaari 1	Käyttöönotto	1973
	Valmistaja	KWU
	Polttoaine	kevyt polttoöljy
	Tyyppi	1-akselinen kaasuturbiini
	Teho	59 MW
	Paine	9 bar
	Lämpötila	800 °C
	Generaattorin jännite	10.5 kV
Kellosaari 2	Käyttöönotto	1974
	Valmistaja	KWU
	Polttoaine	kevyt polttoöljy
	Tyyppi	1-akselinen kaasuturbiini
	Teho	59 MW
	Paine	9 bar
	Lämpötila	800 °C
	Generaattorin jännite	10.5 kV

Kaukojäähdytyslaitos

	Käyttöönotto	2001
	Tuotantoteho	10 MW
Absorptiopumppu	Yksiköiden lukumäärä	2 kpl
	Teho/yksikkö	3.5 MW
	Jäähdytysvesivaraston tilavuus	1000 m3
	"Polttoaine"	
	-kun merivesi lämmintä (< 7 °C)	kaukolämmön menovesi
	-kun merivesi kylmää (> 7 °C)	merivesi
	Pumppujen työaine	LiBr/H2O-sc0s



Muutettu G/ 2712.82 K/19.985 H/26.2.83 J/ 22.11.84 J/ 29.8.85		 HELSINGIN KAUPUNGIN ENERGIALAITOS		pilrustusnumero 3VSa 1—34E—6701 K nimitys Salmisaaren B-voimalaitos <i>Pääluhteen säätökaavio</i>	
toimintakoodi		paikkakoodi 1JA05		pilr.laji F 701	
suunn.	Ali	pilrt.	EN	tark.	hyv.
					nähn.
					suhde
					korvaa
					jakelu

